



**Kampus
Merdeka**
INDONESIA JAYA

MODUL

Dasar-Dasar

Mikrobiologi Akuatik

Disusun Oleh :

NINIK UMI HARTANTI, S.Si., M.Si. (NIDN 061257601)

MATHEOS TALAKUA, S.Pi., MSc. (NIDN 1215067001)

Kerjasama Pembelajaran Daring Kolaboratif

Universitas Pancasakti Tegal

Dengan

Universitas Iqra Buru Maluku

PROGRAM STUDI BUDIDAYA PERAIRAN
FAKULTAS ERIKANAN DAN ILMU KELAUTAN
UNIVERSITAS PANCASAKTI TEGAL

2023

KATA PENGANTAR

Selamat datang dalam modul "Dasar-Dasar Mikrobiologi Akuatik." Modul ini didedikasikan untuk menjelajahi dunia mikroorganisme yang hidup dalam lingkungan akuatik, seperti perairan laut, sungai, dan danau. Mikrobiologi akuatik adalah cabang penting dari ilmu mikrobiologi yang memahami peran kritis mikroorganisme dalam menjaga keseimbangan ekosistem air, serta dampaknya pada kualitas air dan kehidupan di dalamnya.

Dalam modul ini, Anda akan diperkenalkan pada mikroorganisme yang mendiami ekosistem akuatik, termasuk bakteri, alga, protozoa, dan lainnya. Kami akan menjelaskan bagaimana mikroorganisme ini berkontribusi pada sirkulasi nutrisi, dan dekomposisi materi organik di dalam perairan. Modul ini juga akan membahas isu-isu penting seperti pencemaran air, bakteri penyebab penyakit, dan metode analisis mikrobiologi akuatik. Modul ini dirancang untuk mahasiswa dan mereka yang tertarik dalam memahami mikrobiologi akuatik. Kami berusaha memberikan penjelasan yang jelas dan relevan.

Kami berharap modul ini akan memberikan pemahaman yang lebih baik tentang mikroorganisme dalam ekosistem akuatik dan akan menjadi sumber yang bermanfaat dalam eksplorasi Anda terhadap dunia yang luar biasa ini.

Selamat belajar!

Penulis

DAFTAR ISI

| | |
|---|----|
| KATA PENGANTAR | i |
| DAFTAR ISI | ii |
| BAB I. TINJAUAN MATA KULIAH | 1 |
| 1.1. Deskripsi singkat | 1 |
| 1.2. Kegunaan atau manfaat | 1 |
| 1.3. Capaian mata kuliah | 1 |
| 1.4. Susunan materi ajar | 1 |
| 1.5. Petunjuk bagi dosen | 2 |
| 1.5.1. Pelaksanaan | 2 |
| 1.5.2. Penilaian | 2 |
| 1.6. Petunjuk Bagi Mahasiswa | 2 |
| BAB II. PERAN EKOLOGIS BAKTERIA | 4 |
| 1.1. Pelapukan bahan organik | 4 |
| 1.2. Fiksasi Nitrogen | 4 |
| 1.3. Simbiosis dengan organisme lain | 4 |
| 1.4. Penguraian zat yang berbahaya | 4 |
| 1.5. Berperan dalam Siklus Nutrien | 4 |
| 1.6. Produksi Antibiotik | 5 |
| 1.7. Distribusi Bakteri | 6 |
| 1.8. Siklus C | 8 |
| 1.9. Siklus S | 10 |
| BAB III. PROKARIOT BAKTERI, EUBAKTERI, KLASIFIKASI | 13 |
| 3.1. Struktur Sel | 13 |
| 3.2. DNA Sirkular Tunggal | 13 |
| 3.3. Bakteria/Eubacteria | 15 |
| BAB IV. METODA IDENTIFIKASI | 20 |
| 4.1. Identifikasi Morfologi Makroskopik dan Mikroskopik | 20 |
| 4.2. Pemeriksaan Gram | 20 |
| 4.3. Uji Biokimia | 20 |
| 4.4. Tes Serologis | 20 |

| | |
|---|-----------|
| 4.5. Teknik Molekuler | 20 |
| 4.6. Metode Fingerprinting Genetik | 21 |
| 4.7. Uji Metabolisme | 21 |
| 4.8. Analisis Spektrum Massa | 21 |
| 4.9. Analisis Genomik Komparatif | 21 |
| 4.10. Struktur sel bakteri | 22 |
| 4.11. Reproduksi | 24 |
| 4.12. Tipe Metabolik | 26 |
| 4.13. Manfaat bakteri | 27 |
| BAB V. KLASIFIKASI PENCEMARAN ORGANIK DAN AN ORGANIK | 30 |
| 5.1. Pencemaran Organik | 30 |
| 5.2. Pencemaran Anorganik | 32 |
| 5.3. Biodegradasi Pengolahan Limbah | 33 |
| BAB VI. BIOREMEDIASI MICROBIAL | 37 |
| 6.1. Pemilihan Mikroorganisme | 37 |
| 6.2. Pengkulturan Mikroorganisme | 37 |
| 6.3. Pemberian Nutrisi | 37 |
| 6.4. Kondisi Lingkungan yang Diatur | 37 |
| 6.5. Pemantauan dan Pengawasan | 37 |
| 6.6. Waktu yang Dibutuhkan | 38 |
| 6.7. Aplikasi Lapangan | 38 |
| 6.8. Keamanan Lingkungan dan Kesehatan | 38 |
| 6.9. Faktor utama yang menentukan | 38 |
| 6.10. Bioremediasi melibatkan mikroba | 38 |
| 6.11. Berdasarkan lokasi bioremediasi | 38 |
| BAB VII. DASAR KLASIFIKASI VIRUS DAN FUNGI | 41 |
| 7.1. Struktur Virus | 41 |
| 7.2. Siklus Hidup Virus | 41 |
| 7.3. Infeksi Spesifik | 42 |
| 7.4. Pengaruh pada Tuan Rumah (Host) | 42 |
| 7.5. Peran dalam Penyakit | 42 |
| 7.6. Pengobatan dan Pencegahan | 42 |
| 7.7. Peran dalam Ilmu Pengetahuan | 42 |
| 7.8. Klasifikasi | 42 |

| | |
|---|-----------|
| 7.9. Ukuran Virus | 42 |
| 7.10. Materi Genetik | 42 |
| 7.11. Struktur Tambahan | 43 |
| 7.12. Keragaman Struktural | 43 |
| 7.13. Reproduksi Virus | 43 |
| 7.14. Dasar klasifikasi virus | 44 |
| 7.15. Fungi | 44 |
| 7.16. Yeast | 46 |
| 7.17. Jamur benang/mold dan jamur berbadan buah | 47 |
| 7.18. Hifa | 47 |
| 7.19. Siklus Hidup Fungi | 48 |
| 7.20. Algae | 48 |
| 7.21. Protozoa | 49 |
| BAB VIII. BAKTERI PENYEBAB PENYAKIT | 50 |
| 8.1. Struktur Bakteri | 50 |
| 8.2. Cara Bakteri Menyebabkan Penyakit | 50 |
| 8.3. Contoh Penyakit Bakteri | 51 |
| 8.4. Bakteri patogen | 52 |
| BAB IX. PERTUMBUHAN SEL | 53 |
| 9.1. Pertumbuhan Sel pada Sel-sel Individu | 53 |
| 9.2. Pertumbuhan Sel pada Organisme Keseluruhan | 53 |
| 9.3. Faktor-faktor yang Mempengaruhi Pertumbuhan Sel | 53 |
| 9.4. Pembelahan sel | 54 |
| 9.5. Komunikasi antar sel | 55 |
| BAB X. PERAN MIKROBA DALAM PERAIRAN | 57 |
| 10.1. Siklus Nutrien | 57 |
| 10.2. Proses Biokimia | 57 |
| 10.3. Pemurnian Air | 57 |
| 10.4. Keseimbangan Ekosistem | 57 |
| 10.5. Menanggulangi Polusi | 57 |
| 10.6. Produksi Makanan | 58 |
| 10.7. Indikator Kualitas Air | 58 |
| 10.8. Siklus Karbon | 58 |
| 10.9. Habitat Lentik (<i>lentic habitats, standing water</i>) | 59 |

| | |
|---|----|
| 10.10. Habitat Lotik (<i>lotic</i>) | 60 |
| BAB XI. PROBIOTIK DALAM AKUAKULTUR | 62 |
| 11.1. Probiotik | 62 |
| 11.2. Fungsi dan manfaat probiotik | 62 |
| 11.3. Probiotik, prebiotik dan synbiont | 63 |
| 11.4. Aplikasi dalam akuakultur | 63 |
| 11.5. Probiotik pembentuk floc | 63 |
| 11.6. Efisiensi karbon | 63 |
| 11.7. Proses perombakan bahan organik | 65 |
| 11.8. Pengendalian Amonia | 66 |
| 11.9. Amonia dalam kolam | 67 |
| BAB XII. BIOFILM | 69 |
| 12.1. Biofilm | 69 |
| 12.2. Faktor pembetukan biofilm | 71 |
| 12.3. Faktor-faktor yang mempengaruhi pembentukan biofilm | 73 |
| 12.4. Biofilm berpengaruh pada manusia antara lain | 73 |
| 12.5. Keuntungan biofilm | 73 |
| DAFTAR PUSTAKA | 74 |

BAB I. TINJAUAN MATA KULIAH

1.1. Deskripsi singkat

Matakuliah dasar –dasar mikrobiologi akuatik sebanyak 16 kali tatap muka dengan 14 kali pertemuan, 1 kali UTS dan 1 kali UAS. Strategi pembelajaran dengan case base learning dan projek base learning. Mata kuliah ini membahas tentang peran ekologis bakteri, prokariot : bakteri, eubakteri, klasifikasi bahan pencemar organik dan an organik, Dasar klasifikasi virus dan fungi, Bakteri penyebab penyakit, pertumbuhan sel, bakteri di perairan serta bakteri probiotik.

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 dari aktivitas manusia.

1.3. Capaian mata kuliah

Setelah menyelesaikan mata kuliah ini mahasiswa dapat mengetahui dan mampu menentukan golongan mikroba perairan, mengetahui peran bakteri dalam lingkungan, dan dapat menjelaskan klasifikasi bakteri, mengidentifikasi, menjelaskan manfaat bakteri untuk pengendalian bahan pencemar, mampu menjelaskan virus dan fungi, mengetahui pertumbuhan berat sel dan pengukuran, menerapkan bioremediasi, dan peranan bakteri dalam aktivitas produksi pertanian, perikanan, peternakan, mahasiswa dapat menjelaskan probiotik.

1.4. Susunan materi ajar

Susunan materi ajar terdiri dari :

1. Kontrak kuliah
2. Peran ekologis bakteri.
3. Prokariot bakteri, eubakteri, klasifikasi
4. Metoda identifikasi
5. Klasifikasi Pencemaran organik dan an organik
6. Biodegradasi pengolahan limbah
7. Dasar Klasifikasi Virus dan fungi
8. Bakteri penyebab penyakit
9. Pertumbuhan Sel
10. Bioremediasi

11. Peran mikroba dalam perairan
12. Jaring makanan pelagik
13. Probiotik dalam lingkungan air
14. Biofilm

1.5. Petunjuk bagi dosen

Dosen dalam melaksanakan proses belajar mengajar harus melakukan persiapan materi sesuai dengan capaian kompetensi matakuliah, dan capaian tiap pertemuan tatap muka. Materi yang diberikan harus relevan dengan kondisi terkini di lapangan. Oleh karena itu teori disampaikan lebih bersifat yang berhubungan dengan kasus di lapangan dan bagaimana mana mahasiswa memahami permasalahan dan menyelesaikannya atau mengatasinya. Materi dilakukan secara daring dan luring lewat akun LMS elsakti berupa modul ,materi, video dan penugasan.

1.5.1. Pelaksanaan

Setiap proses kegiatan belajar mengajar sebaiknya :

2. Memberikan penugasan kepada siswa tentang kasus kejadian yang saat ini terjadi di lapangan yang melibatkan mikroba, kemudian didiskusikan, dibahas dengan mengacu pada teori yang ada.
3. Memberikan tugas berupa kasus di lapangan yang selanjutnya digunakan sebagai bahan diskusi. Hasil pembahasan atau diskusi kemudian dibentuk laporan.

1.5.2. Penilaian

Dosen melakukan penilaian kepada mahasiswa atas dasar hasil keaktifan kehadiran, hasil penugasan, hasil praktiku, diskusi dan pelaporan. Kegiatan diskusi atau presentasi di kelas, kuis dan Ujian semester sesuai kesepakatan dosen dan mahasiswa.

1.6. Petunjuk Bagi Mahasiswa

Agar dapat mengikuti mata kuliah Dasar- dasar Mikrobiologi Perairan dengan baik, serta dapat memahami dan menerapkan sesuai dengan capaian mata kuliah dan capaian tatap muka :

1. Mahasiswa mempelajari bahan ajar sebelum mengikuti kegiatan perkuliahan atau praktikum.
2. Mahasiswa melakukan kesepakatan proses belajar mengajar dengan dosen pengampu di awal pertemuan (kontrak kuliah)
3. Mahasiswa 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 saat kegiatan proses belajar mengajar.
5. Mahasiswa mengetahui proses penilaian yang disampaikan oleh Dosen pengampu MK.

BAB II. PERAN EKOLOGIS BAKTERIA

Bakteria memiliki peran ekologis yang sangat penting dalam ekosistem. Meskipun ukurannya sangat kecil dan seringkali tidak terlihat dengan mata telanjang, bakteri memiliki dampak yang signifikan pada lingkungan di mana mereka hidup.

2.1. Pelapukan bahan organik

Bakteria dekomposer utama dalam ekosistem. Mereka menguraikan bahan organik seperti daun mati, sisa – sisa hewan, dan tanaman yang membusuk . Proses ini menghasilkan nutrisi esensial seperti nitrogen, fosfor, dan karbon yang kemudian dapat digunakan oleh tumbuhan dan organisme lain dalam rantai makanan.

2.2.Fiksasi Nitrogen

Beberapa jenis bakteri, seperti *Rhizobium* dan *azotobacter*, memiliki kemampuan untuk mengubah nitrogen atmosfer menjadi bentuk yang dapat digunakan oleh tumbuhan, seperti amonia atau nitrat. Proses ini dikenal sebagai fiksasi nitrogen, dan ini membantu meningkatkan ketersediaan nitrogen dalam tanah, yang merupakan nutrisi penting bagi pertumbuhan tanaman.

2.3.Simbiosis dengan organisme lain

Bakteria sering terlibat dalam hubungan simbiosis dengan organisme lain, seperti tumbuhan dan hewan. Contoh paling terkenal adalah dalam hubungan mutualisme antara bakteri dalam akar tumbuhan (*rhizobakteria*) dan tumbuhan legum (misalnya, kacang-kacangan). Bakteri ini membantu tumbuhan mengambil nitrogen dari udara dan dalam pertukaran, tumbuhan memberikan bakteri tempat tinggal dan nutrisi.

2.4.Penguraian zat yang berbahaya

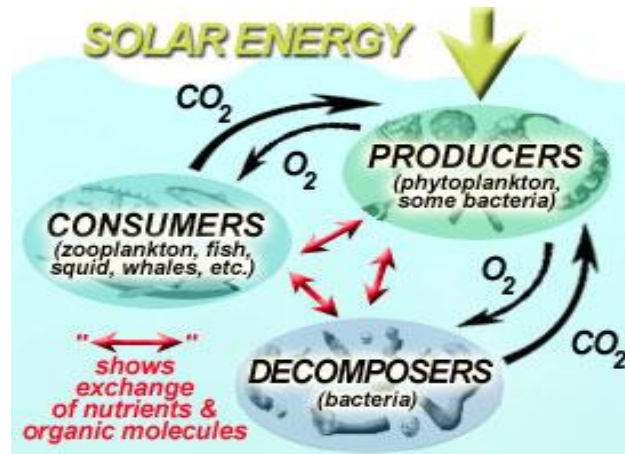
Beberapa bakteri memiliki kemampuan untuk menguraikan zat-zat berbahaya, seperti senyawa kimia beracun atau limbah polutan. Ini adalah contoh dari bioremediasi, di mana bakteri digunakan untuk membersihkan lingkungan dari pencemaran.

2.5.Berperan dalam Siklus Nutrien

Bakteria berperan penting dalam siklus nutrisi, seperti siklus karbon, nitrogen, dan fosfor. Mereka membantu mengubah berbagai senyawa kimia dalam siklus ini sehingga nutrisi dapat digunakan kembali oleh organisme dalam ekosistem.

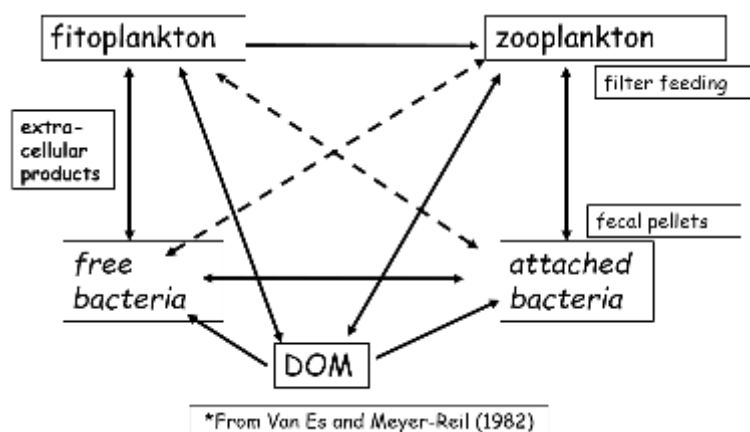
2.6. Produksi Antibiotik

Beberapa bakteri menghasilkan antibiotik alami yang dapat menghambat pertumbuhan bakteri patogen lain. Ini adalah contoh dari kompetisi antara bakteri dalam ekosistem, yang dapat membantu menjaga keseimbangan populasi bakteri dalam lingkungan.



Gambar 1. Peran ekologis bakteri

- Produktivitas primer dilakukan oleh algae dan bakteri fotosintetik
- Produktivitas sekunder dilakukan oleh mikroba heterotrofik menggunakan materiorganik terlarut menyusunnya menjadi partikulat untuk dapat digunakan organisma pada rantai makan berikutnya
- Proses-proses tipikal yang berpengaruh dalam akuakultur : (1) nitrifikasi; (2) denitrifikasi; (3) oksidasi sulfida; (4) reduksi sulfat



Gambar 2. Hubungan antara bakteri dan komponen lain dalam ekosistem akuatik

- Oligotrofik: nutrisi rendah, oksigen jenuh, *growth rate* rendah
- Eutrofik: kadar nutrisi tinggi, oksigen rendah, *growth rate* tinggi

2.7. Distribusi Bakteri

1. Di lautan lepas, jumlah bakteri rendah.
2. Bersama dengan fitoplankton, umumnya berada di permukaan.
3. Prokaryot permukaan: 10^7 sel/ml
4. Distribusi berdasar ke dalaman terkait dengan suhu dan salinitas
5. Bersesuaian dengan khlorofil a

Tabel 1. Bakteri Nitrifikasi Khemoototrofik

| Aktivitas | Spesies Mikroba |
|---|---|
| Pengoksidasi amonium Pengoksidasi nitrit | <i>Nitrosomonas europea</i> , <i>N. eutrophus</i> , <i>N. marina</i> <i>Nitrosococcus nitrosus</i> , <i>N. mobilis</i> , <i>N. oceanus</i> <i>Nitrospira briensis</i> <i>Nitrosolobus multiformis</i> <i>Nitrosovibrio tenuis</i> <i>Nitrobacter winogradskyi</i> , <i>N. hamburgensis</i> <i>Nitrospina gracilis</i> <i>Nitrococcus mobilis</i> <i>Nitrospira marina</i> |

Tabel 2. Bakteri denitrifikasi

| Bakteria | Ciri khas penting |
|--|--|
| <p>Organotrof <i>Alcaligenes</i> <i>Agrobacterium</i> <i>Aquaspirillum</i> <i>Azospirillum</i> <i>Bacillus</i></p> | <p>Bakteri tanah Beberapa spesies patogen tanaman Beberapa bersifat magnetotatik, oligotrofik Pemfiksasi nitrogen asosiatif, fermentatif Pembentuk spora, fermentatif, beberapa termofilik</p> |
| <p>Organotrof Blastobacter Bradyrhizobium Branhamella Chromobacterium Cytophaga Flavobacterium Flexibacter Halobacterium Hyphomicrobium</p> | <p>Bakteri bertunas Pemfiksasi nitrogen simbiosis dengan legum Patogen hewan Membentuk pigmen ungu Bakteri meluncur, pendegradasi selulosa Bakteri tanah Bakteri meluncur Halofilik Tumbuh pada substrat C1, oligotrofik</p> |
| <p>Organotrof Kingella Neisseria Paracoccus Propionibacterium Pseudomonas Rhizobium Wolinella</p> | <p>Patogen hewan Patogen hewan Halofilik dan lithotrofik Fermentatif Umum diisolasi dari tanah, sangat beragam Pengikat nitrogen simbiotik dengan legum Patogen hewan</p> |
| <p>Lithotrof Alcaligenes Bradyrhizobium Nitrosomonas Paracoccus Pseudomonas</p> | <p>Menggunakan H₂, juga heterotrofik, umum dijumpai di tanah Menggunakan H₂, juga heterotrofik, pemfiksasi nitrogen simbiosis dengan legum Pengoksidasi NH₃ Menggunakan H₂, heterotrofik, halofilik Menggunakan H₂, heterotrofik, umum dijumpai di tanah</p> |
| <p>Lithotrof Thiobacillus Thiomicrospira Thiosphaera</p> | <p>Pengoksidasi S Pengoksidasi S Pengoksidasi S, nitrifikasi heterotrofik, denitrifikasi aerobik</p> |

Tabel 3. Mikroba yang berperan dalam disimilasi Nitrit atau Nitrat menjadi amonium

| Bakteria | Habitat tipikal |
|---|--|
| Anaerob obligat <i>Clostridium</i> <i>Desulfovibrio</i> <i>Selenomonas</i> <i>Veillonella</i> <i>Wolinella</i> | Tanah, sedimen Sedimen Rumen Saluran pencernaan Rumen |
| Anaerob fakultatif Citrobacter Enterobacter Erwinia Escherichia Klebsiella Photobacterium Salmonella Serratia Vibrio | Tanah, limbah cair Tanah, limbah cair Tanah Tanah, limbah cair Tanah, limbah cair Air laut Air limbah Saluran pencernaan Sedimen |
| Mikroaerofilik: Campylobacter | Rongga mulut |
| Aerobik: Bacillus Neisseria Pseudomonas | Tanah, makanan Membran mukosa Tanah, air |

2.8. Siklus C

1. C merupakan materi dasar semua makhluk hidup;
2. semua jaringan hidup mengandung C
3. CO₂ dibutuhkan tumbuhan untuk fotosintesa, jumlah di atmosfer rendah (0.03%) tetapi sangat penting
4. CO₂ diproduksi hewan dan tumbuhan melalui respirasi seluler (aktivitas sel)
5. Keseimbangan dinamika beragam bentuk C, dalam air sebagai karbonat dan bikarbonat, sedimen dan bahan bakar fosil, udara, tumbuhan dan tanah.

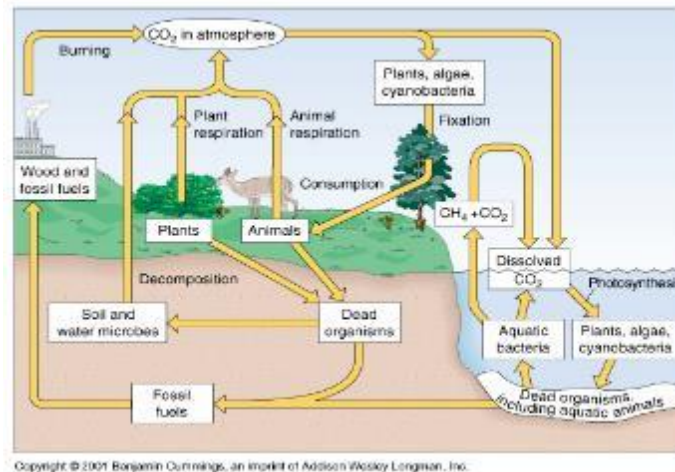
Tabel 4. Reservoir C di bumi

| Reservoir C di bumi | | |
|----------------------------|-----------------------------|-------|
| <u>Reservoir</u> | <u>Size (Gigatons of C)</u> | |
| Atmosphere | 750 | 1.6% |
| Forests | 610 | 1.3% |
| Soils | 1580 | 3.4% |
| Surface ocean | 1020 | 2.2% |
| Deep ocean | 38,100 | 81.0% |
| Fossil fuels | | |
| Coal | 4,000 | 8.5% |
| Oil | 500 | 1.1% |
| Natural gas | 500 | 1.1% |
| Total fossil fuel | 5,000 | |

Tabel 5. Timbunan karbon global

| Timbunan karbon | Volume (dlm metrik ton) | Aktif mengalami siklus |
|-------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|
| Atmosfer: CO ₂ | $6,7 \times 10^{11}$ | Ya |
| Lautan: | $4,0 \times 10^9$ | Tidak |
| Biomassa | $3,8 \times 10^{13}$ | Tidak |
| Karbonat | $2,1 \times 10^{12}$ | Ya |
| Partikel organik dan terlarut | | |
| Tanah: | $5,0 \times 10^{11}$ | Ya |
| Biota | $1,2 \times 10^{12}$ | Ya |
| Humus | $1,0 \times 10^{13}$ | Ya |
| Bahan bakar fosil | $1,2 \times 10^{17}$ | Tidak |
| Kerak bumi* | | |

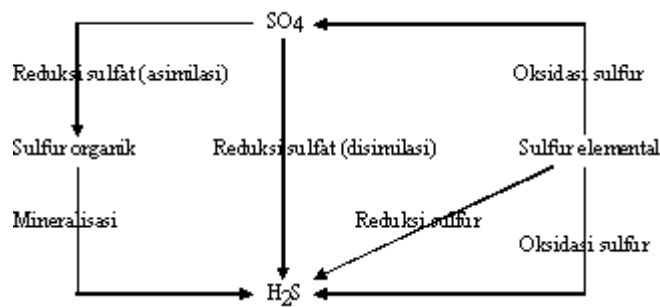
* di darat dan lautan (Sumber: Dobrovolsky, 1994)



Gambar 2. Siklus karbon

2.9. Siklus S

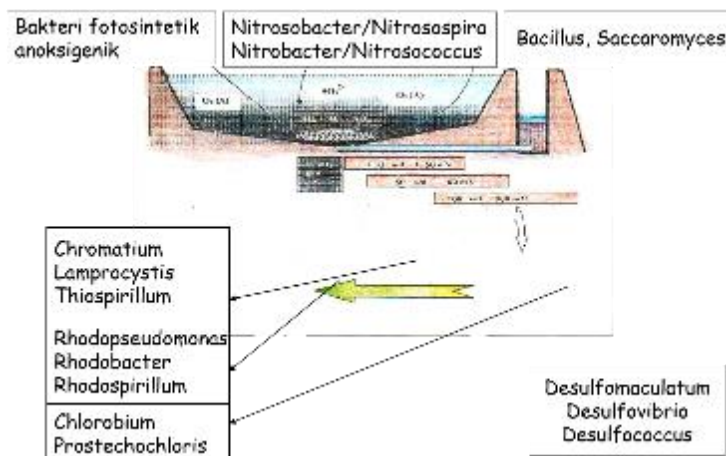
1. Penting sebagai penyusun sejumlah asam amino dan enzim.
2. Dijumpai dalam bentuk S organik (tumbuhan dan hewan) dan anorganik (batuan/mineral yang mengandung sulfur).
3. Dibebaskan ke lingkungan melalui dekomposisi materi organik, erosi, gunung api, garam laut.
4. Dijumpai dalam bentuk H₂S, kemudian SO₂ di udara dan air, dan SO₄ di air dan tanah.
5. membentuk H₂SO₄ dalam air dan terbawa bersama hujan (jika dalam konsentrasi tinggi menjadi hujan asam).
6. Dekomposer membebaskan S dari materi organik
7. Tumbuhan mendapatkan S terutama dalam bentuk SO₄ dalam tanah dan air; sedangkan hewan memperoleh melalui proses memakan tumbuhan atau and hewan lain.
8. Pertambangan (a.l. batubara) dan industri membebaskan S dan menyebabkan pengasaman lingkungan al. akibat *acid mining drainase* maupun pembakaran batubara



Gambar 3. Siklus S

Tabel 6. Berbagai bakteri pengoksidasi sulfur

| Bakteri | Reaksi yang berlangsung | Syarat Lingkungan | Habitat |
|---|--|----------------------------|---|
| Khemoototrof obligat atau fakultatif: <i>Thiobacillus</i> <i>Thiomicrospira</i> <i>Achromatium</i> <i>Beggiatoa</i> <i>Thermothrix</i> | $H_2S \rightarrow S^0$ $S^0 \rightarrow SO_2^{2-}$ $S_2O_3^{2-} \rightarrow SO_4^{2-}$ | Interfase H_2S - O_2 | Lumpur, mataair panas, permukaan tambang, tanah |
| Fototrof anaerob: <i>Chlorobium</i> <i>Chromatium</i> <i>Ectothiorhodospira</i> <i>Thiopedia</i> <i>Rhodopseudomonas</i> | $H_2S \rightarrow S^0$ $S^0 \rightarrow SO_2$ | Anaerobik, H_2S , cahaya | Air dangkal, sedimen anaerob meta atau hipolimnion, air anaerobik |



Gambar 4. Mikroba pada tambak

BAB III. PROKARIOT BAKTERI, EUBAKTERI, KLASIFIKASI

Bakteri prokariotik adalah mikroorganisme yang memiliki struktur sel sederhana dan tidak memiliki nukleus berlapis ganda (kariotik) seperti pada sel eukariotik. Sebagai mikroorganisme yang sangat primitif, bakteri prokariotik memiliki beberapa fitur utama yang membedakannya dari sel eukariotik yang lebih kompleks.

3.1. Struktur Sel

Sel bakteri prokariotik memiliki bentuk dan ukuran yang bervariasi, tetapi umumnya memiliki tiga bagian utama:

1. Dinding Sel

Dinding sel bakteri mengelilingi membran sel dan memberikan bentuk serta perlindungan pada sel. Komposisi dinding sel dapat bervariasi, misalnya, bakteri Gram-positif memiliki dinding sel yang tebal, sedangkan bakteri Gram-negatif memiliki dinding sel yang lebih tipis.

2. Membran Sel

Membran sel prokariotik terletak di bawah dinding sel. Ini adalah lapisan lipid yang berfungsi sebagai penghalang selektif yang mengatur pertukaran zat antara sel dan lingkungannya.

3. Sitoplasma

Sitoplasma bakteri berisi berbagai struktur seluler, termasuk ribosom, DNA sirkular tunggal (tanpa nukleus), dan berbagai molekul lain yang diperlukan untuk fungsi sel.

3.2. DNA Sirkular Tunggal

Bakteri prokariotik memiliki satu molekul DNA sirkular tunggal yang berisi seluruh informasi genetik yang diperlukan untuk kelangsungan hidup dan reproduksi sel. DNA ini terletak dalam area yang disebut nukleoid, tetapi tidak dikelilingi oleh membran inti nukleus seperti pada sel eukariotik.

2. Ribosom

Ribosom dalam sel bakteri prokariotik bertanggung jawab atas sintesis protein. Struktur ribosom dalam bakteri berbeda dari eukariota dan memiliki subunit 30S dan 50S yang membentuk 70S dalam totalnya.

3. Reproduksi Aseksual

Bakteri berkembang biak secara aseksual melalui pembelahan sel yang disebut pembelahan biner. Dalam proses ini, sel membelah menjadi dua sel anak yang identik, masing-masing memiliki salinan DNA yang sama dengan sel induknya.

4. Metabolisme yang Beragam

Bakteri prokariotik dapat memiliki berbagai jenis metabolisme. Beberapa bakteri bersifat autotrof, yang berarti mereka dapat menghasilkan makanan mereka sendiri melalui fotosintesis atau reduksi senyawa anorganik. Sementara itu, bakteri heterotrof bergantung pada senyawa organik yang ada dalam lingkungan untuk nutrisi mereka.

5. Motilitas

Beberapa bakteri prokariotik memiliki flagela atau pilus yang memungkinkan mereka untuk bergerak. Ini dapat membantu mereka bergerak menuju sumber nutrisi atau menjauhi kondisi yang merugikan.

6. Adaptabilitas Tinggi

Bakteri prokariotik memiliki tingkat adaptabilitas yang tinggi dan dapat mengubah genetik mereka dengan cepat melalui perubahan gen atau pertukaran materi genetik dengan bakteri lain melalui proses seperti transformasi, konjugasi, dan transduksi.

Bakteri prokariotik memiliki peran penting dalam ekosistem, termasuk dalam siklus biogeokimia dan berbagai aplikasi dalam bioteknologi dan industri. Studi tentang bakteri prokariotik juga penting dalam ilmu mikrobiologi dan kedokteran karena beberapa bakteri dapat menjadi patogen yang menyebabkan penyakit pada manusia, hewan, dan tumbuhan.

- ☑ Deskripsi: eubacteria/bacteria, archaeabacteria/archaea, Gram-negative, Gram-positive, acid fast, cyanobacteria
- ☑ Tipe: *procaryotes, nutrient absorbers, wet conditions, decomposers, cell walls*
- ☑ Tipe Nutrien: chemoheterotrophs, photoheterotrophs, chemoautotrophs, photoautotrophs
- ☑ Motilitas: non-motil, motil dengan flagella dan *gliding*

3.3. Bakteria/Eubacteria

Eubakteri, yang juga dikenal sebagai bakteri atau bacteria, adalah salah satu dari dua kelompok utama mikroorganisme prokariotik (yang lainnya adalah arkea) dan merupakan bentuk kehidupan tertua di Bumi. Berikut adalah beberapa detail tentang eubakteri:

1. Struktur Sel

Eubakteri memiliki struktur sel prokariotik, yang berarti mereka tidak memiliki membran berlapis ganda yang melindungi nukleus (seperti pada sel eukariotik). Mereka memiliki nukleoid, yang merupakan area yang tidak memiliki membran yang berisi DNA sirkular tunggal, serta ribosom, sitoplasma, dan berbagai struktur seluler lainnya.

2. Dinding Sel

Sebagian besar eubakteri memiliki dinding sel yang kuat dan kaku yang memberikan dukungan struktural dan perlindungan. Dinding sel ini terbuat dari peptidoglikan, yang merupakan polimer yang mengandung gula dan peptida. Bakteri Gram-positif memiliki dinding sel yang lebih tebal, sementara bakteri Gram-negatif memiliki dinding sel yang lebih tipis.

3. Motilitas

Beberapa eubakteri memiliki flagela atau pilus yang memungkinkan mereka bergerak. Flagela adalah struktur panjang yang digunakan untuk berenang, sementara pilus adalah struktur pendek yang dapat digunakan untuk adhesi atau konjugasi.

4. Metabolisme

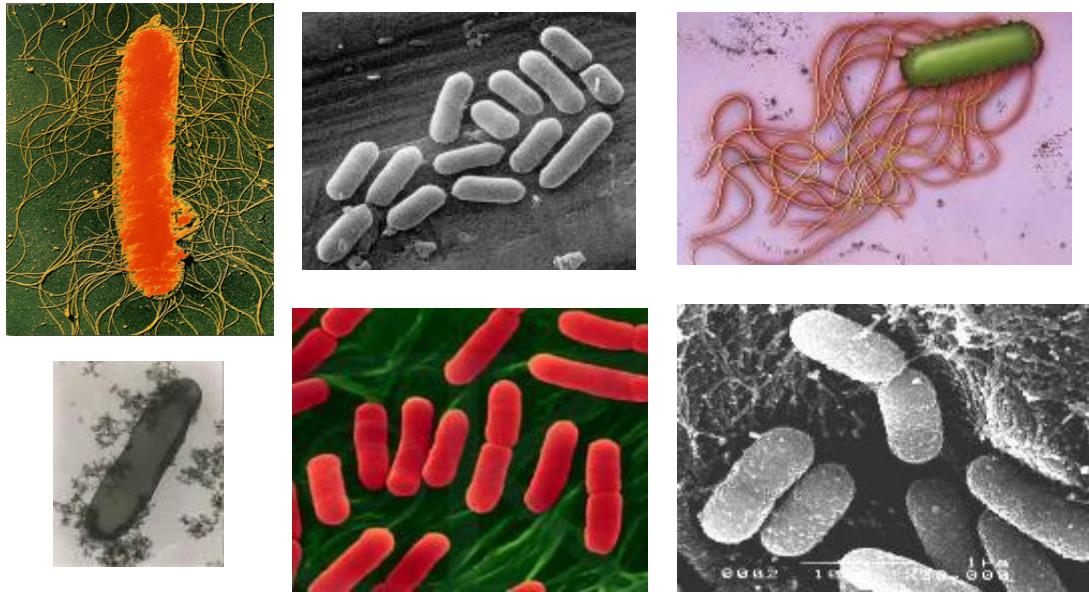
Eubakteri dapat memiliki berbagai jenis metabolisme. Beberapa adalah heterotrof, yang berarti mereka memperoleh nutrisi dari senyawa organik di lingkungan mereka. Sementara itu, beberapa adalah autotrof, yang berarti mereka dapat menghasilkan makanan mereka sendiri melalui fotosintesis atau oksidasi senyawa anorganik.

5. Reproduksi

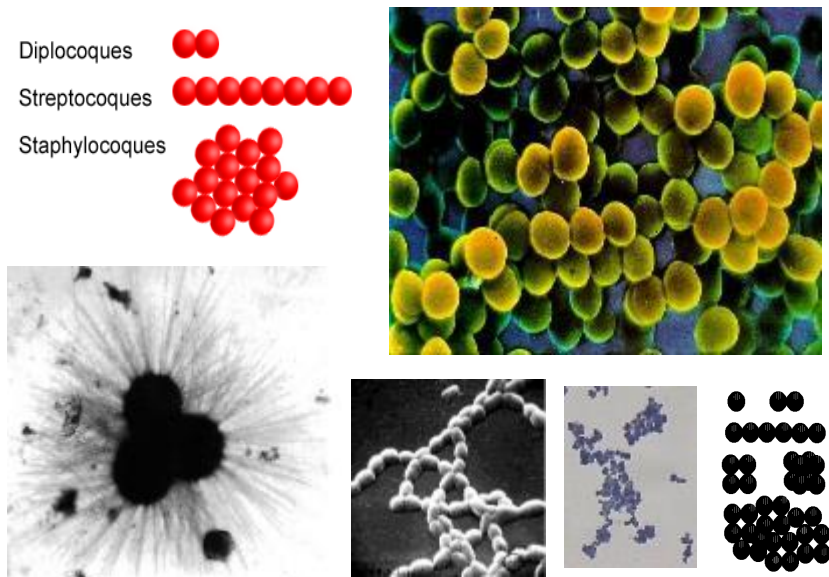
Eubakteri berkembang biak secara asexual melalui pembelahan biner, di mana satu sel membelah menjadi dua sel anak yang identik. Ini adalah metode reproduksi yang sangat cepat, yang memungkinkan populasi bakteri untuk berkembang dengan sangat cepat.

6. Ekologi

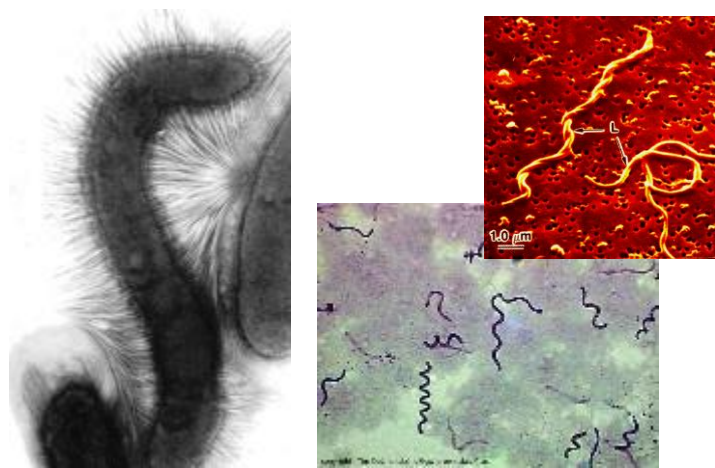
Eubakteri ada di hampir setiap lingkungan di Bumi. Mereka dapat ditemukan di tanah, air, udara, dalam tubuh manusia, dan bahkan di lingkungan ekstrem seperti mata air panas, danau asin, dan dalam lapisan tanah dalam. Eubakteri memiliki peran penting dalam siklus



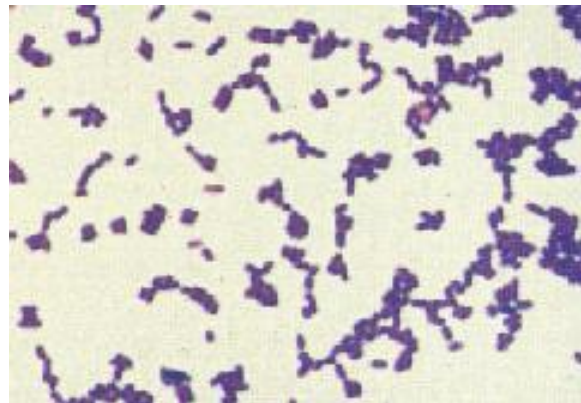
Gambar 8. Bakteri Bentuk Batang



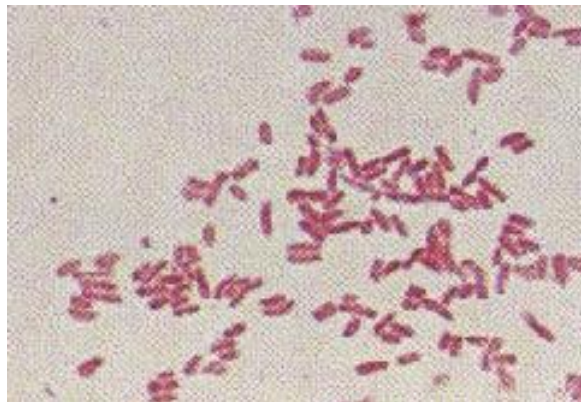
Gambar 9. Bakteri Bentuk Kokus



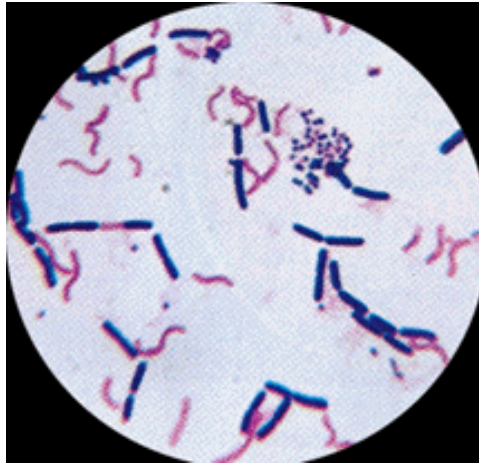
Gambar 10. Bakteri bentuk spiral



Gambar 11. Bakteri gram positif



Gambar 12. Bakteri gram negative



Gambar 13. Bakteri campuran

Klasifikasi bakteri (*Scientific Nomenclature*)

Spesies bakteri: Populasi sel-sel dengan karakter yang serupa

Strain bakteri: suatu sub-group spesies bakteri yang memiliki karakter yang berbeda. Diidentifikasi dengan kode nomor, huruf atau nama yang menyertai nama saintifik, misal *Escherichia coli* O157:H7 merupakan strain penyebab diare berdarah.

Bergey's Manual: menjadi referensi identifikasi dan klasifikasi bakteri. Pada awalnya didasarkan pada morfologi sel, pewarnaan, metabolisme, biokimiawi, serologi dst. Metode baru meliputi pula analisis rangkaian/sekuens DNA, RNA, dan protein terutama untuk mengetahui hubungan evolusinya.

BAB IV. METODA IDENTIFIKASI

Identifikasi bakteri adalah proses untuk mengidentifikasi spesies atau jenis bakteri tertentu. Identifikasi bakteri penting dalam berbagai bidang, termasuk mikrobiologi klinis, pertanian, industri makanan, dan penelitian.

4.1. Identifikasi Morfologi Makroskopik dan Mikroskopik

1. Morfologi Makroskopik

Bakteri dapat diidentifikasi pertama kali berdasarkan karakteristik makroskopik seperti bentuk, ukuran, warna koloni, dan tekstur saat tumbuh pada media pertumbuhan yang sesuai.

2. Morfologi Mikroskopik

Pemeriksaan mikroskopik dari bakteri dapat memberikan petunjuk tentang bentuk sel (misalnya, kokus, basil, atau spiral), pengelompokan sel (seperti berpasangan, beruntai, atau berkelompok), dan karakteristik lainnya.

4.2. Pemeriksaan Gram

Metode pewarnaan Gram adalah salah satu pendekatan pertama dalam identifikasi bakteri. Bakteri dibagi menjadi dua kelompok berdasarkan respons terhadap pewarnaan Gram: bakteri Gram-positif dan bakteri Gram-negatif. Perbedaan ini dapat memberikan informasi penting tentang struktur dinding sel.

4.3. Uji Biokimia

Uji biokimia digunakan untuk mengidentifikasi bakteri berdasarkan kemampuan mereka untuk menghasilkan atau menguraikan senyawa tertentu. Contohnya adalah uji fermentasi gula, penguraian urea, penguraian gelatin, dan uji katalase. Hasil dari uji ini digunakan untuk membandingkan dengan profil biokimia dari bakteri yang sudah diketahui.

4.4. Tes Serologis

Tes serologis melibatkan penggunaan antibodi atau antigen untuk mengidentifikasi bakteri. Contohnya adalah uji aglutinasi, yang melibatkan penggunaan antibodi untuk mendeteksi bakteri tertentu dalam sampel.

4.5. Teknik Molekuler

Teknik molekuler, seperti PCR (Polymerase Chain Reaction) dan sekuensing DNA, telah menjadi metode identifikasi yang sangat kuat. Dalam PCR, gen unik dari bakteri diamplifikasi dan dianalisis untuk keberadaan atau urutan yang khas. Teknik sekuensing

DNA dapat digunakan untuk mengidentifikasi bakteri berdasarkan analisis urutan gen tertentu.

4.6. Metode Fingerprinting Genetik

Metode ini mencakup teknik seperti PFGE (Pulsed-Field Gel Electrophoresis) dan RAPD (Random Amplified Polymorphic DNA). Mereka membandingkan pola unik dari fragmen DNA bakteri untuk mengidentifikasi spesies atau strain tertentu.

4.7. Uji Metabolisme

Uji metabolisme, seperti uji oksidasi-fermentasi, uji decarboxylase, dan uji fermentasi karbohidrat, digunakan untuk memahami kemampuan bakteri untuk mengubah berbagai substrat metabolisme.

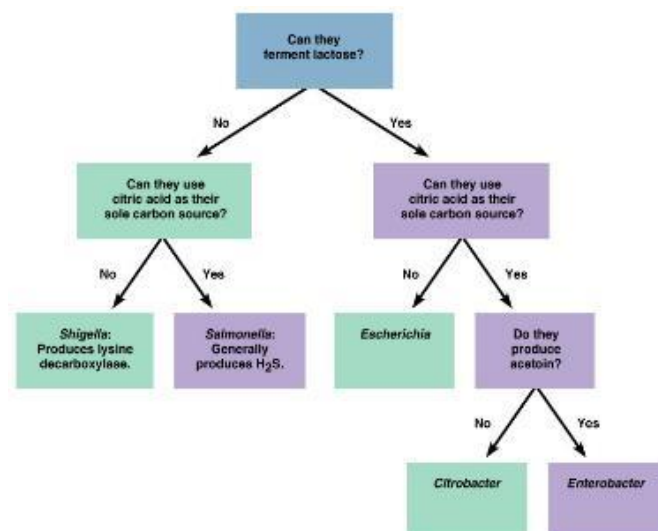
4.8. Analisis Spektrum Massa

Spektrometri massa dapat digunakan untuk mengidentifikasi bakteri berdasarkan profil spektrum massa unik mereka. Ini termasuk teknik MALDI-TOF MS (Matrix-Assisted Laser Desorption/Ionization Time-of-Flight Mass Spectrometry).

4.9. Analisis Genomik Komparatif

Dengan kemajuan teknologi sekuensing, analisis genomik komparatif semakin umum. Ini melibatkan perbandingan seluruh genom bakteri untuk mengidentifikasi dan membandingkan spesies atau strain.

Metode identifikasi bakteri yang digunakan akan tergantung pada tujuan identifikasi, tingkat spesifikasi yang dibutuhkan, dan sumber daya yang tersedia. Biasanya, kombinasi beberapa metode akan digunakan untuk memastikan identifikasi yang akurat dan dapat diandalkan.



Gambar 14. Metoda Identifikasi

Identification: Culture Independent Methods

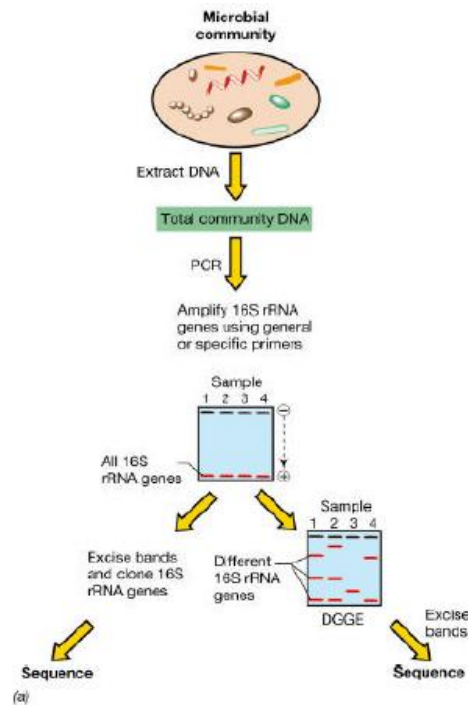
Untuk mendapatkan DNA genomik dari sampel lingkungan

Sequens bagian dari 16S rRNA, gen-gen fungsional

Terminal restriction fragment length polymorphism (TRFLP)

Denaturing gel gradient electrophoresis (DGGE)

- Fluorescent antibody - secondary antibodies
- Fluorescent *in situ* hybridization (FISH) - *In situ* PCR



Gambar 15. Identification: Culture Independent Methods

4.10. Struktur sel bakteri,

Struktur sel bakteri juga dikenal sebagai sel prokariotik, memiliki beberapa komponen utama yang memungkinkan mereka untuk menjalankan fungsi-fungsi biologis yang penting.

1. Dinding Sel (Cell Wall)

Dinding sel bakteri adalah lapisan luar yang kuat dan kaku yang memberikan dukungan struktural dan melindungi sel dari tekanan osmotik (tekanan yang dihasilkan oleh perbedaan konsentrasi zat di dalam dan di luar sel). Dinding sel bakteri terutama terbuat dari peptidoglikan, yang adalah polimer yang terdiri dari gula-gula dan rantai peptida. Perbedaan dalam komposisi dinding sel adalah salah satu karakteristik utama yang membedakan bakteri Gram-positif dan Gram-negatif.

2. Membran Sel (Cell Membrane atau Plasma Membrane)

Membran sel bakteri adalah lapisan lipid yang mengelilingi sitoplasma dan memisahkan sel dari lingkungan eksternal. Membran sel prokariotik berperan penting dalam regulasi aliran zat-zat ke dalam dan keluar sel. Ini juga berperan dalam proses respirasi dan fotosintesis pada bakteri yang mampu melakukan proses ini.

3. Sitoplasma (Cytoplasm)

Sitoplasma adalah cairan yang mengisi sel bakteri. Ini mengandung berbagai struktur seluler yang penting, termasuk ribosom (tempat sintesis protein terjadi), DNA sirkular tunggal (yang berisi informasi genetik), dan molekul-molekul lain yang diperlukan untuk berbagai fungsi sel.

4. Nukleoid

Nukleoid adalah area dalam sitoplasma yang mengandung DNA sirkular tunggal bakteri. Meskipun tidak memiliki membran nukleus seperti pada sel eukariotik, nukleoid berfungsi sebagai pusat kontrol genetik sel bakteri.

5. Ribosom

Ribosom adalah kompleks protein dan RNA yang bertanggung jawab atas sintesis protein dalam sel bakteri. Struktur ribosom dalam bakteri berbeda dari eukariota dan terdiri dari dua subunit, yaitu 30S dan 50S, yang bersama-sama membentuk ribosom 70S.

6. Flagela dan Pilus

Beberapa bakteri memiliki flagela, yang merupakan struktur panjang yang digunakan untuk bergerak. Pilus adalah struktur yang lebih pendek dan dapat digunakan untuk berbagai tujuan, termasuk adherensi sel ke permukaan lain atau sebagai alat untuk konjugasi (pertukaran materi genetik).

7. Kapsul (Capsule)

Kapsul adalah lapisan luar tambahan yang dapat ditemukan pada beberapa bakteri. Ini adalah lapisan glikoprotein atau polisakarida yang dapat memberikan perlindungan terhadap sistem kekebalan inang dan memungkinkan bakteri untuk melekat pada permukaan sel inang.

8. Inklusi (Inclusion Bodies)

Inklusi adalah struktur yang mengandung berbagai zat yang disimpan oleh sel bakteri, seperti glikogen, granulat volutin, atau butir-butir metanol. Ini berfungsi sebagai cadangan makanan atau zat yang diperlukan untuk proses seluler tertentu.

9. Mesosom (Mesosome)

Mesosom adalah lipatan membran sel yang terlibat dalam berbagai proses seluler, termasuk pembelahan sel dan transportasi elektron selama respirasi.

Struktur sel bakteri sederhana tetapi sangat efisien, memungkinkan mereka untuk melakukan berbagai fungsi yang diperlukan untuk kelangsungan hidup dan reproduksi. Setiap komponen struktur sel tersebut memiliki peran kunci dalam aktivitas seluler bakteri.

4.11. Reproduksi

Reproduksi bakteri adalah proses pembentukan sel-sel anak baru dari sel induk yang ada. Bakteri berkembang biak secara aseksual melalui dua metode utama: pembelahan biner (binary fission) dan pembelahan tunas (budding).

1. Pembelahan Biner (Binary Fission)

Pembelahan biner adalah metode reproduksi utama pada bakteri. Proses ini melibatkan beberapa langkah:

- 1) Pemisahan DNA : DNA sirkular tunggal dalam sel bakteri akan mengalami duplikasi (replikasi), sehingga terbentuk dua salinan identik DNA yang disebut kromosom anak (chromosome daughter).
- 2) Pembentukan Partisi : Sel bakteri mulai membagi sitoplasma dan membran sel ke dalam dua bagian dengan bantuan sebuah struktur yang disebut "partisi" atau "septum." Partisi ini tumbuh ke arah tengah sel.
- 3) Pembelahan Sel : Setelah partisi sepenuhnya terbentuk, sel bakteri terbagi menjadi dua sel anak yang identik. Proses ini menghasilkan dua sel yang memiliki salinan DNA yang sama dengan sel induknya.
- 4) Pelepasan Sel Anak : Sel anak kemudian melepaskan diri dari sel induknya dan dapat terus tumbuh dan berkembang secara independen.
- 5) Pembelahan biner pada bakteri sangat cepat dan dapat menyebabkan pertumbuhan populasi yang eksponensial jika kondisi lingkungan mendukung.

2. Pembelahan Tunas (Budding)

Pembelahan tunas lebih umum terjadi pada bakteri yang memiliki bentuk sel tertentu, seperti bakteri yang berbentuk bulat atau bercabang. Proses ini melibatkan pembentukan tonjolan atau tunas pada permukaan sel yang akan menjadi sel anak baru. Langkah-langkahnya meliputi:

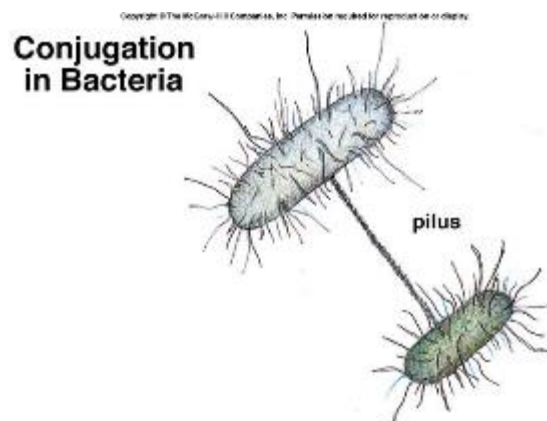
- 1) Pemilihan Lokasi : Sel induk memilih lokasi di permukaannya untuk membentuk tunas.
- 2) Pembentukan Tunas : Sel induk mulai membentuk tonjolan atau tunas kecil yang akan tumbuh menjadi sel anak baru.
- 3) Pertumbuhan Tunas : Tunas terus tumbuh dan mendapatkan materi sel yang diperlukan dari sel induknya.

- 4) Pemisahan : Setelah tunas cukup besar dan memiliki komponen sel yang lengkap, ia terpisah dari sel induknya untuk menjadi sel anak yang mandiri.

Pembelahan tunas kurang umum dibandingkan dengan pembelahan biner, dan biasanya terjadi pada bakteri dengan karakteristik khusus.

Selama reproduksi bakteri, perlu dicatat bahwa mutasi genetik dapat terjadi, yang dapat menghasilkan variasi genetik dalam populasi bakteri. Ini adalah salah satu alasan mengapa bakteri dapat mengembangkan resistensi terhadap antibiotik dan beradaptasi dengan perubahan lingkungan. Proses reproduksi yang efisien dan cepat ini memungkinkan bakteri untuk berkembang biak dalam berbagai kondisi dan memainkan peran penting dalam ekosistem dan dalam aplikasi bioteknologi.

1. Pembelahan biner (predominan), suatu bakteri dapat melangsungkan pembelahan sel tiap 10-20 menit
2. Konjugasi (rekombinasi genetik), sebagian materi kromosom dipindahkan dari sel donor ke sel resipien melalui pilus
3. Transformasi, sel mengambil fragmen-fragmen DNA yang dibebaskan oleh sel-sel yang mati
4. Transduksi, Fragmen-fragmen DNA dipindahkan dari satu sel ke lainnya dengan bantuan virus



Gambar 16. Konjugasi bakteri

4.12. Tipe Metabolik

Metabolisme bakteri adalah serangkaian proses biokimia yang digunakan untuk memperoleh energi dan memproses nutrisi. Berdasarkan cara bakteri mendapatkan energi dan nutrisi, mereka dapat digolongkan ke dalam beberapa tipe metabolik utama.

1. Metabolisme Fototrof

Fototrof adalah bakteri yang menggunakan energi dari cahaya matahari untuk menghasilkan makanan mereka sendiri melalui fotosintesis. Mereka mengubah energi cahaya menjadi energi kimia dalam bentuk gula atau senyawa organik lainnya. Contoh fototrof adalah bakteri fotosintetik seperti cyanobacteria (biru-hijau) dan beberapa bakteri hijau sulfida.

2. Metabolisme Chemotrof

Chemotrof adalah bakteri yang mengandalkan energi yang dihasilkan dari reaksi kimia. Mereka dapat dibagi menjadi dua kategori:

- 1) *Kemoautotrof* : Bakteri ini menggunakan energi dari oksidasi senyawa kimia anorganik (misalnya, belerang, amonia, besi) untuk menghasilkan makanan mereka sendiri. Contohnya adalah bakteri nitrifikasi dan bakteri besi oksidatif.
- 2) *Kemoheterotrof* : Bakteri ini mendapatkan energi dari reaksi kimia yang melibatkan senyawa organik, dan mereka juga memerlukan senyawa organik sebagai sumber karbon. Contoh kemoheterotrof adalah bakteri patogen seperti *Escherichia coli* (*E. coli*) dan bakteri yang berperan dalam dekomposisi bahan organik.

3. Metabolisme Lithotrof

Lithotrof adalah kemoautotrof yang mendapatkan energi dari oksidasi senyawa kimia anorganik, seperti senyawa belerang, besi, atau hidrogen. Mereka menggunakan energi ini untuk mensintesis senyawa organik dari karbon dioksida, mirip dengan fotosintesis. Bakteri ini sering ditemukan di lingkungan yang kaya senyawa anorganik.

4. Metabolisme Organotrof

Organotrof adalah kemoheterotrof yang mendapatkan energi dari senyawa organik, seperti glukosa atau asam amino, dan juga menggunakan senyawa organik ini sebagai sumber karbon. Banyak bakteri patogen dan bakteri dalam lingkungan tanah dan air termasuk dalam kategori ini.

5. Metabolisme Anaerobik dan Aerobik

Bakteri juga dapat digolongkan berdasarkan ketergantungan mereka pada oksigen.

- 1) Bakteri Aerobik : Bergantung pada oksigen untuk menghasilkan energi. Mereka menggunakan respirasi aerobik untuk mengoksidasi senyawa organik dan menghasilkan ATP.

- 2) Bakteri Anaerobik : Tumbuh dan berkembang biak tanpa oksigen atau dengan konsentrasi oksigen yang sangat rendah. Beberapa bakteri anaerobik dapat menggunakan respirasi anaerobik untuk menghasilkan energi tanpa oksigen.

Tipe metabolik bakteri sangat beragam dan mencerminkan adaptasi mereka terhadap berbagai lingkungan dan sumber daya. Beberapa bakteri dapat memiliki kemampuan untuk berubah dari satu tipe metabolisme ke tipe lain tergantung pada kondisi lingkungan yang berubah. Adaptasi ini memungkinkan bakteri untuk bertahan dalam berbagai kondisi dan peran ekologis yang berbeda.

Sel memerlukan energi, karbon dan elektron (reducing equivalents)

- 1) Kebutuhan akan energi :
 - Fototrofik : Mikroorganisma fototrofik Anaerobik ; Mikroorganisma fototrofik aerobik bakteri sulfur hijau)
 - Khemotrofik (energi dari reaksi-reaksi redoks) : Oksidasi/reduksi senyawa-senyawa organik atau anorganik
- 2) Kebutuhan akan Karbon :
 - autotrofik (fiksasi CO₂-, produser primer)
 - heterotrofik (karbon dari karbon organik)
- 3) Kebutuhan akan Elektron/hidrogen/*reducing equivalents*:
 - Lithotrofik: oksidasi senyawa-senyawa anorganik (e.g. oksidasi H₂, H₂S, Fe₂⁺,...)
 - Organotrofik: oksidasi senyawa-senyawa organik

4.13. Manfaat bakteri

Ada banyak jenis bakteri yang bermanfaat bagi manusia, yang berperan dalam berbagai aspek kehidupan kita. Berikut adalah beberapa jenis bakteri yang memiliki manfaat signifikan bagi manusia:

1. Bakteri Probiotik

Probiotik adalah bakteri "baik" yang membantu menjaga keseimbangan mikroflora usus dan mendukung kesehatan pencernaan. Contoh-contoh bakteri probiotik termasuk Lactobacillus dan Bifidobacterium. Mereka sering ditemukan dalam yogurt dan suplemen probiotik.

2. Bakteri Pendegradasi Limbah

Beberapa bakteri, seperti bakteri aktif lumpur, membantu dalam penguraian bahan organik dalam limbah domestik dan industri. Ini memainkan peran penting dalam penyucian air limbah sebelum dilepaskan kembali ke lingkungan.

3. Bakteri Pembuatan Makanan

Bakteri seperti *Lactobacillus* dan *Streptococcus* digunakan dalam proses fermentasi makanan seperti yogurt, keju, dan produk susu lainnya. Mereka memberikan rasa, aroma, dan konsistensi tertentu pada makanan fermentasi.

4. Bakteri Fiksasi Nitrogen

Bakteri seperti *Rhizobium* berkolaborasi dengan akar tanaman leguminosa untuk mengikat nitrogen atmosfer dan mengubahnya menjadi bentuk yang dapat digunakan oleh tanaman. Ini meningkatkan kesuburan tanah dan produktivitas pertanian.

5. Bakteri Pembuatan Antibiotik

Bakteri seperti *Streptomyces* menghasilkan banyak antibiotik yang digunakan dalam pengobatan infeksi bakteri pada manusia. Contohnya termasuk streptomisin, eritromisin, dan tetrasiklin.

6. Bakteri dalam Bioteknologi

Bakteri digunakan dalam berbagai aplikasi bioteknologi, termasuk produksi insulin manusia dalam industri farmasi, produksi enzim dalam industri makanan, dan rekayasa genetika untuk produksi senyawa berguna.

7. Bakteri dalam Ekosistem Tanah

Bakteri dalam tanah membantu dalam pengurai limbah organik, meningkatkan kesuburan tanah, dan melindungi tanaman dari penyakit. Mereka juga berperan penting dalam siklus unsur dan ekosistem tanah.

8. Bakteri dalam Penelitian Ilmiah

Bakteri adalah subjek penelitian penting dalam ilmu biologi, bioteknologi, dan mikrobiologi. Mereka digunakan sebagai model organisme dalam banyak penelitian ilmiah.

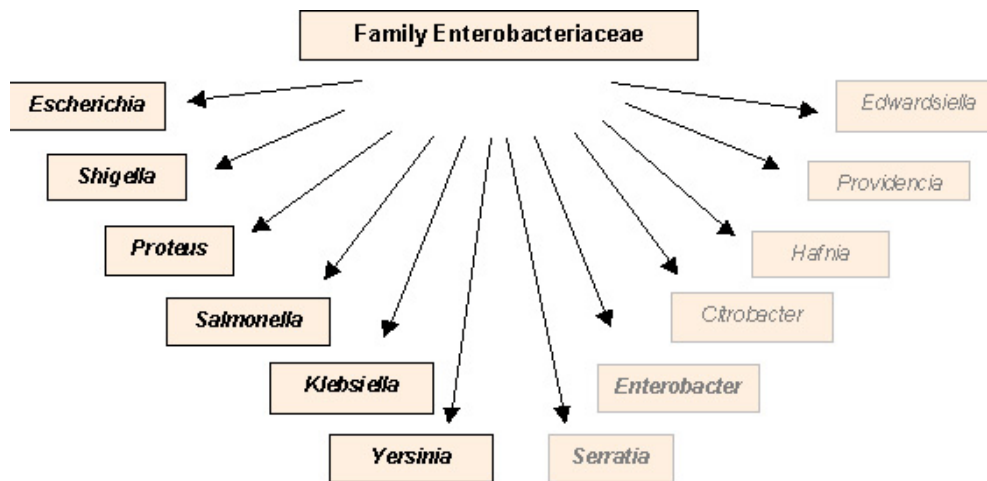
9. Bakteri dalam Lingkungan Ekstrem

Beberapa bakteri dapat bertahan dan berkembang biak di lingkungan yang ekstrem seperti mata air panas laut dalam, dan mereka dapat memberikan wawasan tentang adaptasi organisme ke kondisi lingkungan yang keras.

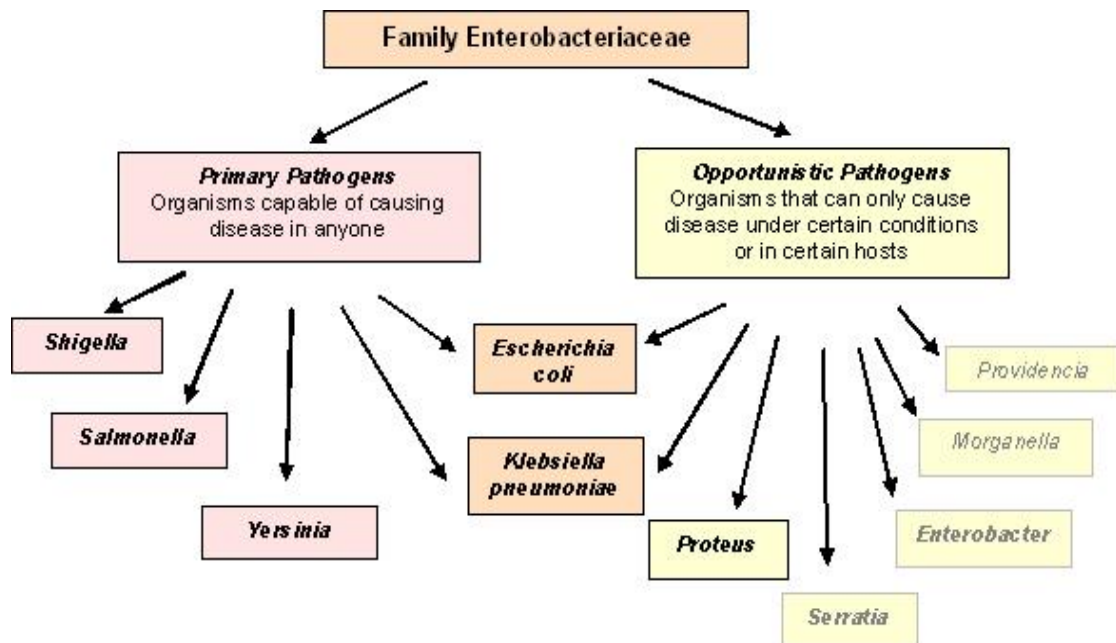
10. Bakteri Penyubur Tanah

Bakteri seperti *Azotobacter* dan *Clostridium* membantu meningkatkan kesuburan tanah dengan mengubah senyawa organik menjadi senyawa yang lebih sederhana yang dapat digunakan oleh tumbuhan.

Manfaat bakteri bagi manusia sangat beragam dan mencakup banyak aspek kehidupan sehari-hari kita, dari kesehatan hingga pertanian, makanan, dan lingkungan. Studi dan penggunaan yang bijak dari berbagai jenis bakteri ini penting untuk memaksimalkan manfaat mereka dan menjaga keseimbangan ekosistem yang sehat.



Gambar 17. Bakteri batang Gram negatif



Gambar 19. Bakteri batang Gram negatif

Toksigenesis Bakterial adalah kemampuan bakteri menghasilkan toksin (~ suatu mekanisme penyakit bakteri) sedangkan Toksin bakteri adalah suatu substansi mikrobial yang mampu menginduksi kerusakan jaringan pada inangnya (Madigan *et al.*, 1997)

- Toksin-toksin yang berhubungan dengan *Cell-associated lipopolysaccharide* (LPS) disebut sebagai endotoksin
- Toksin-toksin ekstraseluler yang larut air (diffusible) disebut sebagai eksotoksin

BAB V. KLASIFIKASI PENCEMARAN ORGANIK DAN AN ORGANIK

Pencemaran organik dan anorganik adalah dua jenis pencemaran lingkungan yang dapat diidentifikasi berdasarkan sumber dan komposisi zat yang mencemari lingkungan.

5.1. Pencemaran Organik

Pencemaran organik terjadi ketika bahan-bahan yang terutama terdiri dari senyawa karbon berpenyebab pencemaran di lingkungan. Senyawa-senyawa organik ini umumnya berasal dari aktivitas manusia seperti industri kimia, pertanian, limbah domestik, dan transportasi. Contoh senyawa organik yang mencemari lingkungan termasuk minyak bumi, pestisida, herbisida, bahan kimia industri, bahan kimia dalam limbah domestik, dan senyawa organik volatil seperti toluena dan benzena. Pencemaran organik dapat memiliki dampak serius pada ekosistem dan kesehatan manusia jika tidak dikendalikan dengan baik.

Pencemaran organik adalah kondisi di mana lingkungan terkontaminasi oleh senyawa-senyawa organik yang berasal dari aktivitas manusia atau alami. Senyawa organik terutama terdiri dari unsur karbon dan hidrogen, kadang-kadang juga mengandung nitrogen, oksigen, sulfur, atau unsur lainnya. Pencemaran organik dapat berasal dari berbagai sumber, dan dampaknya dapat bervariasi tergantung pada jenis senyawa organik yang terlibat, konsentrasinya, serta lokasi dan durasi paparan. Berikut adalah beberapa contoh pencemaran organik dan detail terkait:

1. Pencemaran Air Organik

1) Minyak Bumi

Minyak bumi mengandung berbagai senyawa organik seperti hidrokarbon, polisiklik aromatik, dan senyawa lainnya. Tumpahan minyak bumi di laut atau sungai dapat mengancam ekosistem air, merusak satwa air, dan mempengaruhi sumber daya perikanan.

2) Limbah Domestik

Limbah domestik mengandung senyawa organik seperti deterjen, bahan kimia rumah tangga, dan senyawa organik dalam air kencing dan tinja. Ini dapat menyebabkan peningkatan tingkat nutrisi di perairan dan memicu pertumbuhan alga berlebihan (eutrofikasi).

2. Pencemaran Udara Organik

(1) Senyawa Organik Volatil (VOC)

Senyawa organik volatil seperti toluena, benzena, dan formaldehida dilepaskan oleh industri, kendaraan bermotor, dan proses lainnya. VOC dapat berkontribusi pada pembentukan ozon troposferik dan masalah kesehatan manusia seperti iritasi mata dan gangguan pernapasan.

(2) Asap Rokok

Rokok mengandung banyak senyawa organik beracun seperti nikotin, tar, dan karbon monoksida. Asap rokok dapat menyebabkan masalah kesehatan serius termasuk penyakit paru-paru, kanker, dan masalah kardiovaskular.

3. Pencemaran Tanah Organik

1) Pestisida dan Herbisida

Senyawa organik seperti pestisida (misalnya, DDT) dan herbisida (misalnya, glifosat) digunakan dalam pertanian untuk mengendalikan hama dan gulma. Penggunaan berlebihan atau tidak bijak dari senyawa-senyawa ini dapat mengakibatkan kontaminasi tanah dan air tanah.

3) Limbah Industri

Beberapa industri menghasilkan limbah yang mengandung senyawa organik berbahaya. Jika tidak dikelola dengan baik, limbah ini dapat mencemari tanah dan air tanah, dan bahkan dapat merusak ekosistem.

Pencemaran organik dapat mengganggu ekosistem alami, merusak sumber daya alam, dan membahayakan kesehatan manusia jika senyawa organik tersebut beracun atau terakumulasi dalam rantai makanan. Oleh karena itu, kontrol dan pengelolaan pencemaran organik melalui penggunaan praktik-praktik ramah lingkungan, pengelolaan limbah yang efisien, dan regulasi yang ketat sangat penting untuk menjaga keberlanjutan lingkungan dan kesehatan manusia.

5.2. Pencemaran Anorganik

Pencemaran anorganik, sebaliknya, terjadi ketika bahan-bahan yang mencemari lingkungan terutama terdiri dari senyawa-senyawa yang tidak mengandung karbon atau hanya mengandung unsur-unsur kimia non-karbon seperti logam, mineral, garam, dan senyawa anorganik lainnya. Pencemaran anorganik seringkali berasal dari limbah industri, pertambangan, pembangunan, dan limbah pertanian. Contoh-contoh pencemaran anorganik termasuk timbal dari cat, merkuri dari industri, arsenik dari pertambangan, dan nitrat dari pupuk. Pencemaran anorganik juga dapat berdampak serius pada lingkungan dan kesehatan manusia, terutama jika terjadi akumulasi senyawa berbahaya dalam ekosistem.

Pencemaran anorganik adalah kondisi di mana lingkungan terkontaminasi oleh senyawa-senyawa yang terutama terdiri dari unsur-unsur kimia non-karbon atau senyawa anorganik. Pencemaran ini dapat berasal dari berbagai sumber, termasuk aktivitas manusia seperti industri, pertambangan, dan pertanian, serta dari alam itu sendiri. Dampak pencemaran anorganik tergantung pada jenis senyawa anorganik yang terlibat, konsentrasinya, dan lokasi serta durasi paparan. Berikut adalah beberapa contoh pencemaran anorganik dan penjelasan detailnya:

1. Pencemaran Air Anorganik

- 1) Mercury (Hg)
- 2) Merkuri adalah logam berat yang dapat mencemari air melalui pelepasan dari industri, termasuk tambang emas dan industri kimia. Merkuri adalah senyawa beracun yang dapat terakumulasi di organisme air dan menjadi ancaman bagi ekosistem dan kesehatan manusia.
- 3) Timbal (Pb)
- 4) Timbal adalah logam berat yang dulunya banyak digunakan dalam cat dan bahan bakar. Pelepasan timbal ke lingkungan dapat mencemari air dan tanah, dan dapat berdampak negatif pada sistem saraf manusia dan perkembangan anak-anak.
- 5) Arsenik (As)
- 6) Arsenik adalah senyawa yang dapat ditemukan secara alami dalam tanah dan air tanah. Kontaminasi arsenik dapat terjadi melalui proses geologi alami atau karena aktivitas manusia seperti pertambangan. Arsenik dapat beracun bagi manusia dan hewan jika terkandung dalam konsentrasi tinggi dalam air minum.

2. Pencemaran Udara Anorganik

- 1) Partikulat Udara
- 2) Partikel-partikel anorganik seperti debu, abu vulkanik, dan partikel industri dapat mencemari udara dan memiliki dampak negatif pada kualitas udara dan kesehatan manusia jika dihirup.
- 3) Oksida Nitrogen (NO_x) dan Oksida Belerang (SO_x)
- 4) Gas-gas ini berasal dari pembakaran bahan bakar fosil, seperti batubara dan minyak bumi. Mereka berkontribusi pada pembentukan hujan asam dan dapat merusak tanaman, air, dan lingkungan bangunan.

3. Pencemaran Tanah Anorganik

- 1) Logam Berat dalam Limbah Industri
- 2) Limbah industri dapat mengandung logam berat seperti kadmium, nikel, dan kromium, yang jika mencemari tanah dapat meracuni tumbuhan dan tanaman yang tumbuh di dalamnya.
- 3) Pencemaran Tanah Pertambangan
- 4) Pertambangan mineral dan logam dapat menyebabkan kontaminasi tanah dengan berbagai logam berat seperti besi, tembaga, dan seng.

Pencemaran anorganik dapat mengancam ekosistem, merusak kesehatan manusia, dan merusak sumber daya alam. Pengelolaan dan mitigasi pencemaran anorganik melibatkan praktik-praktik seperti pengendalian limbah industri, pengelolaan limbah beracun, serta regulasi dan pengawasan yang ketat. Upaya konservasi dan restorasi lingkungan juga diperlukan untuk memulihkan ekosistem yang terkena dampak pencemaran anorganik.

Penting untuk memahami perbedaan antara pencemaran organik dan anorganik agar dapat merencanakan dan mengimplementasikan langkah-langkah mitigasi dan pengendalian yang sesuai. Upaya pencegahan pencemaran serta pengelolaan limbah yang tepat sangat penting untuk melindungi lingkungan dan kesehatan manusia dari dampak negatif kedua jenis pencemaran ini.

5.3. Biodegradasi Pengolahan Limbah

Biodegradasi adalah proses penguraian bahan organik oleh mikroorganisme seperti bakteri, jamur, dan enzim alami menjadi senyawa yang lebih sederhana dan umumnya tidak berbahaya bagi lingkungan. Proses biodegradasi sangat penting dalam pengolahan limbah organik karena membantu mengurangi pencemaran lingkungan dan mengurangi dampak negatif limbah terhadap ekosistem. Pemecahan cemar organik oleh aktivitas mikroba yang

melibatkan serangkaian reaksi enzimatik. Umumnya terjadi karena senyawa tersebut dimanfaatkan sebagai sumber makanan (substrat). Biodegradasi yang lengkap disebut juga sebagai mineralisasi, dengan produk akhirnya berupa karbondioksida dan air. Berikut adalah proses biodegradasi dalam pengolahan limbah:

1. Pengumpulan dan Pemisahan Limbah

Proses pengolahan limbah dimulai dengan pengumpulan dan pemisahan limbah dari sumbernya. Limbah organik biasanya terdiri dari bahan-bahan seperti sisa makanan, limbah pertanian, dan limbah domestik. Pada tahap ini, limbah organik dan non-organik dapat dipisahkan untuk memfasilitasi proses biodegradasi.

2. Praproses Limbah

Sebelum limbah organik dapat dikenai proses biodegradasi, seringkali diperlukan praproses. Ini dapat mencakup penghancuran fisik (menggiling atau menghancurkan limbah), pengaturan keseimbangan air dalam limbah, dan penambahan bahan kimia untuk mempercepat biodegradasi.

3. Fermentasi dan Penguraian

Setelah praproses, limbah organik dapat ditempatkan dalam reaktor atau tangki fermentasi yang mengandung mikroorganisme yang dapat menguraikan senyawa organik. Bakteri dan jamur adalah mikroorganisme yang umum digunakan dalam proses ini. Mikroorganisme ini memecah senyawa organik kompleks menjadi senyawa-senyawa yang lebih sederhana seperti karbon dioksida (CO_2), air (H_2O), dan senyawa lainnya.

4. Pengendalian Parameter Lingkungan

Proses biodegradasi memerlukan pengendalian parameter lingkungan seperti suhu, pH, dan kadar oksigen dalam reaktor. Parameter ini disesuaikan agar kondisi lingkungan mendukung pertumbuhan dan aktivitas mikroorganisme pengurai.

5. Waktu dan Pemantauan

Proses biodegradasi memerlukan waktu yang bervariasi tergantung pada jenis limbah dan mikroorganisme yang digunakan. Selama proses ini, limbah harus dipantau secara teratur untuk memastikan efisiensi biodegradasi dan mengidentifikasi masalah potensial.

6. Pengolahan Lanjutan

Setelah sebagian besar biodegradasi terjadi, air atau limbah yang telah mengalami proses ini dapat melewati tahap pengolahan lanjutan seperti penjernihan untuk menghilangkan zat padat atau larut yang tersisa.

7. Pemulihan Energi

Dalam beberapa kasus, energi dapat diambil dari proses biodegradasi, terutama jika limbah organik digunakan untuk menghasilkan biogas atau energi panas.

8. Penggunaan Hasil Biodegradasi

Hasil akhir dari biodegradasi, seperti kompos atau air yang lebih bersih, dapat digunakan kembali dalam berbagai aplikasi, seperti pertanian, pertamanan, atau produksi energi.

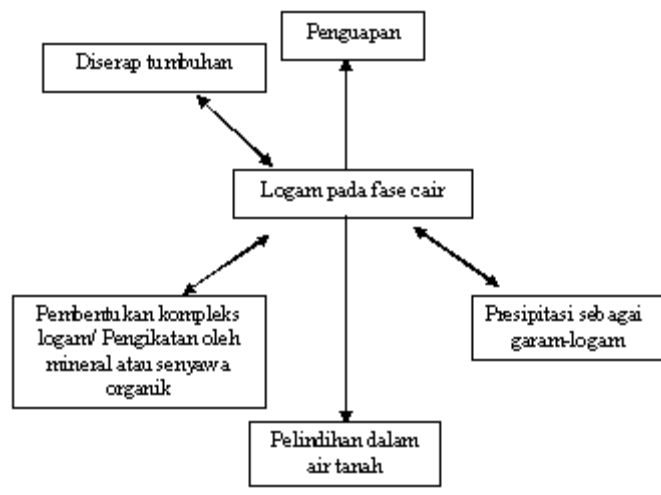
Proses biodegradasi adalah salah satu metode utama dalam pengolahan limbah organik, dan efisiensi proses ini dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor, termasuk jenis limbah, kondisi lingkungan, dan jenis mikroorganisme yang digunakan. Pengelolaan limbah organik dengan baik melalui biodegradasi dapat membantu mengurangi dampak negatifnya pada lingkungan dan menciptakan peluang untuk mendaur ulang sumber daya.

Tabel 7. Senyawa kimia xenobiotik & mikroba pengurai

| Senyawa kimia | Mikroba pendegradasi |
|---|---|
| Hidrokarbon alifatik | <i>Pseudomonas</i> , <i>Candida</i> , <i>Mycobacterium</i> , <i>Acinetobacter</i> , <i>Arthrobacter</i> |
| Hidrokarbon aromatik | <i>Phanerochaeta chrysosporium</i> , <i>Mycobacterium</i> , <i>Ps. putida</i> |
| Khlorobenzoat | <i>Pseudomonas</i> , <i>Arthrobacter</i> , <i>Nocardia</i> |
| Pelarut organik (solven) dengan gugus khlor | <i>Methylobacter</i> , <i>Methylococcus</i> , <i>Phanerochaeta chrysosporium</i> , <i>Pseudomonas</i> |

Tabel 8. Macam logam berat dan akibatnya bagi ikan

| Mineral | Species Ikan | Tanda-tanda-toksisitas |
|---------|-----------------------------|--|
| Zn | <i>Cyprinus carpio</i> | Pertumbuhan terhambat (konsentrasi pada pakan > 300 mg/kg) |
| Cu | <i>Ictalurus punctatus</i> | Pertumbuhan terhambat (konsentrasi pada pakan >15mg/kg) |
| Se | <i>Oncorhynchus mykiss</i> | Pertumbuhan terhambat, efisiensi pakan rendah, mortalitas tinggi (konsentrasi pada pakan >13mg/kg), dan menyebabkan nefrokalsinosis. |
| | <i>I. punctatus</i> | Pertumbuhan terhambat (konsentrasi pada pakan >15mg/kg) |
| Cd | <i>O. mykiss/ C. carpio</i> | Skoliosis, hiperaktif, konsentrasi kalsium tulang menurun. |
| Pb | <i>O. mykiss</i> | Skoliosis, lordosis, ekor hitam (<i>black tail</i>) anemia, sirip ekor mengalami degenerasi. |
| Cr | <i>O. mykiss</i> | Pertumbuhan terhambat, efisiensi pakan rendah |



Gambar 20. Dinamika cemaran logam (Maier, 1999)

BAB VI. BIOREMEDIASI MICROBIAL

Bioremediasi mikrobial adalah metode penghilangan polutan atau pencemar dari lingkungan menggunakan mikroorganisme seperti bakteri, jamur, atau alga. Metode ini memanfaatkan kemampuan mikroorganisme untuk menguraikan, mereduksi, atau mengubah senyawa-senyawa berbahaya menjadi bentuk yang kurang beracun atau tidak beracun.

6.1. Pemilihan Mikroorganisme

Pemilihan mikroorganisme yang tepat sangat penting dalam bioremediasi mikrobial. Mikroorganisme yang digunakan harus memiliki kemampuan alami untuk menguraikan atau mereduksi senyawa pencemar yang ada di lingkungan. Beberapa bakteri seperti *Pseudomonas*, *Bacillus*, atau *Rhodococcus*, serta beberapa jenis jamur seperti *Phanerochaete chrysosporium* sering digunakan dalam bioremediasi karena kemampuan mereka untuk menguraikan berbagai senyawa berbahaya.

6.2. Pengkulturan Mikroorganisme

Mikroorganisme yang dipilih seringkali dikultivasi dalam jumlah besar sebelum diterapkan dalam lingkungan yang terkontaminasi. Ini dapat dilakukan dalam laboratorium atau dalam kondisi yang terkontrol. Mikroorganisme yang telah dikultivasi dapat lebih mudah diterapkan ke area pencemaran.

6.3. Pemberian Nutrisi

Untuk memungkinkan mikroorganisme berkembang dan aktif dalam menguraikan pencemar, mereka memerlukan nutrisi seperti karbon, nitrogen, fosfor, dan mineral lainnya. Pemberian nutrisi yang sesuai dapat mempercepat proses bioremediasi.

6.4. Kondisi Lingkungan yang Diatur

Lingkungan tempat bioremediasi dilakukan harus diatur agar sesuai dengan kebutuhan mikroorganisme. Hal ini mencakup pengaturan pH, suhu, kelembaban, dan oksigen. Kondisi ini dapat bervariasi tergantung pada jenis mikroorganisme dan jenis pencemar yang dihadapi.

6.5. Pemantauan dan Pengawasan

Proses bioremediasi harus dipantau secara berkala untuk memastikan bahwa mikroorganisme aktif dan bahwa pencemar berkurang. Ini melibatkan pengambilan sampel air, tanah, atau udara dan analisis laboratorium untuk menentukan tingkat pencemarannya.

6.6. Waktu yang Dibutuhkan

Bioremediasi adalah proses yang memerlukan waktu yang bervariasi tergantung pada jenis pencemar, kondisi lingkungan, dan jenis mikroorganisme yang digunakan. Proses ini dapat memakan waktu berbulan-bulan atau bahkan bertahun-tahun untuk mencapai hasil yang signifikan.

6.7. Aplikasi Lapangan

Setelah mikroorganisme dan kondisi yang sesuai telah dipersiapkan, mereka diterapkan ke area yang terkontaminasi. Ini dapat dilakukan dengan penyemprotan langsung pada tanah, injeksi ke dalam air tanah, atau metode lain yang sesuai.

6.8. Keamanan Lingkungan dan Kesehatan

Selama proses bioremediasi, penting untuk memantau dampaknya pada lingkungan sekitar dan kesehatan manusia. Langkah-langkah keselamatan dan pengawasan harus diambil untuk memastikan bahwa mikroorganisme yang digunakan tidak menjadi masalah baru dalam ekosistem.

Bioremediasi mikrobial adalah salah satu metode yang ramah lingkungan untuk membersihkan lingkungan yang terkontaminasi oleh berbagai polutan, termasuk senyawa organik beracun, logam berat, dan bahan pencemar lainnya. Keberhasilan bioremediasi sangat tergantung pada pemilihan mikroorganisme yang tepat dan pengaturan kondisi lingkungan yang sesuai untuk mendukung aktivitas mereka.

6.9. Faktor utama yang menentukan

1. Populasi mikroba
2. Konsentrasi nutrisi
3. Pasokan oksigen
4. Suhu dan kelembaban

6.10. Bioremediasi melibatkan mikroba

1. merangsang pertumbuhan mikroba endogenik (*biostimulasi*)
2. menambahkan mikroba yang sudah beradaptasi pada daerah yang tercemar sehingga meningkatkan kemampuan populasi mikroba endogen (*bioaugmentasi*) dalam biotransformasi.
3. tanpa campur tangan manusia (*bioremediasi intrinsik*).

6.11. Berdasarkan lokasi bioremediasi

1. Bioremediasi in-situ

Bioremediasi in-situ adalah suatu metode yang digunakan untuk membersihkan polusi atau pencemaran lingkungan, terutama pencemaran tanah dan air tanah, dengan menggunakan

organisme hidup seperti mikroba, bakteri, atau fungi untuk menguraikan atau mengurangi kontaminan menjadi bentuk yang lebih aman atau kurang berbahaya secara alami, tanpa mengangkut tanah atau air ke tempat lain. Ini adalah alternatif yang lebih ramah lingkungan dan seringkali lebih ekonomis dibandingkan dengan metode remediasi kimia atau fisik yang lebih invasif.

Berikut adalah beberapa poin penting tentang bioremediasi in-situ:

- 1) **Organisme Hidup:** Bioremediasi in-situ melibatkan penggunaan organisme hidup seperti bakteri, mikroba, alga, dan fungi yang memiliki kemampuan untuk mendekomposisi atau menguraikan zat pencemar. Organisme ini dapat secara alami memakan atau mereduksi kontaminan tertentu.
- 2) **Tempat Terpencemaran:** Metode ini biasanya digunakan di tempat-tempat yang terkontaminasi oleh zat pencemar seperti minyak bumi, logam berat, senyawa organik berbahaya, atau limbah kimia lainnya. Contohnya termasuk lokasi bekas pengeboran minyak, lahan limbah industri, atau lokasi landfill.
- 3) **Proses Biodegradasi:** Organisme hidup yang ditempatkan di dalam tanah atau air akan bekerja untuk menguraikan kontaminan menjadi senyawa yang lebih sederhana dan kurang beracun. Proses ini disebut biodegradasi. Bakteri dan mikroba seringkali merupakan agen biodegradasi utama dalam metode ini.
- 4) **Pemantauan dan Kontrol:** Bioremediasi in-situ memerlukan pemantauan dan pengendalian ketat terhadap lingkungan sekitarnya. Suhu, pH, konsentrasi oksigen, dan nutrisi diatur agar kondisi sesuai untuk pertumbuhan dan aktivitas organisme bioremediasi.
- 5) **Waktu yang Dibutuhkan:** Proses bioremediasi in-situ dapat memakan waktu yang cukup lama, tergantung pada jenis kontaminan, kondisi lingkungan, dan jenis organisme yang digunakan. Ini bisa berlangsung dari beberapa bulan hingga beberapa tahun.

2. Bioremediasi ex-situ

Bioremediasi ex-situ adalah suatu metode yang digunakan untuk membersihkan polusi atau pencemaran lingkungan dengan mengeluarkan bahan pencemar dari lokasi asalnya (tempat pencemaran) ke lokasi yang terpisah (biasanya dalam tangki atau fasilitas khusus) untuk menguraikan atau mengurangi kontaminan menggunakan organisme hidup seperti mikroba, bakteri, atau fungi. Metode ini sering digunakan ketika bioremediasi in-situ tidak memungkinkan atau tidak efektif dalam mengatasi pencemaran. Berikut adalah beberapa poin penting tentang bioremediasi ex-situ:

- 1) **Pemindahan Kontaminan:** Pada metode bioremediasi ex-situ, tanah, air, atau material lain yang terkontaminasi dipindahkan dari lokasi pencemaran ke tempat yang dapat dikendalikan. Ini memungkinkan isolasi kontaminan dan mencegah penyebaran lebih lanjut.
- 2) **Fasilitas Kontrol:** Bioremediasi ex-situ sering melibatkan penggunaan fasilitas khusus seperti tangki, reaktor, atau kolam bioremediasi di mana kondisi lingkungan seperti suhu, kelembaban, nutrien, dan aerasi dapat diatur secara optimal untuk mendukung aktivitas organisme bioremediasi.
- 3) **Organisme Bioremediasi:** Organisme hidup seperti bakteri, mikroba, alga, atau fungi yang memiliki kemampuan untuk menguraikan atau mengurangi kontaminan umumnya digunakan dalam bioremediasi ex-situ. Organisme ini diberikan nutrien dan kondisi yang mendukung pertumbuhan dan aktivitas mereka.
- 4) **Proses Biodegradasi:** Kontaminan diuraikan oleh organisme bioremediasi dalam fasilitas kontrol, yang menghasilkan produk yang kurang berbahaya atau lebih mudah diolah secara aman.
- 5) **Monitoring dan Pengendalian:** Seperti bioremediasi in-situ, bioremediasi ex-situ juga memerlukan pemantauan dan pengendalian yang cermat untuk memastikan bahwa proses berjalan dengan baik dan tidak menimbulkan risiko bagi lingkungan sekitarnya.
- 6) **Keuntungan dan Batasan:** Keuntungan bioremediasi ex-situ termasuk kemampuan untuk mengatasi pencemaran dengan lebih cepat dan kontrol yang lebih baik terhadap kondisi proses. Namun, bioremediasi ex-situ seringkali lebih mahal daripada metode in-situ dan memerlukan transportasi kontaminan ke lokasi fasilitas, yang juga dapat menimbulkan risiko kebocoran selama proses pengangkutan.

BAB VII. DASAR KLASIFIKASI VIRUS DAN FUNGI

Virus adalah entitas biologis yang sangat sederhana, tetapi juga sangat spesifik dalam cara mereka berinteraksi dengan sel-sel inang untuk mereplikasi diri.

7.1. Struktur Virus

1. Kapsid

Lapisan pelindung protein yang mengelilingi materi genetik virus. Kapsid bisa memiliki berbagai bentuk, seperti bola, heliks, atau polihedral.

2. Genom

Genom virus dapat berupa DNA atau RNA, bisa beruntai ganda atau beruntai tunggal. Genom mengandung instruksi untuk mereplikasi virus ketika mereka menginfeksi sel inang.

3. Lapisan Lipid (hanya ada pada virus tertentu)

Beberapa virus, seperti virus flu, memiliki lapisan lipid yang mengelilingi kapsid mereka, yang disebut sebagai "envelop." Lapisan ini berasal dari sel inang dan membantu virus dalam melewati membran sel untuk masuk atau keluar.

7.2. Siklus Hidup Virus

1. Penempelan (Attachment)

Virus terlebih dahulu menempel pada permukaan sel inang dengan bantuan protein-spike atau molekul khusus yang cocok dengan reseptor sel inang.

2. Penetrasi (Penetration)

Virus memasukkan materi genetiknya ke dalam sel inang, baik dengan menghancurkan dinding sel atau dengan mekanisme lain.

3. Replikasi (Replication)

Materi genetik virus mulai mereplikasi diri dengan menggunakan mesin replikasi sel inang. Ini menghasilkan ribuan salinan virus baru.

4. Pengemasan (Assembly)

Salinan-salinan materi genetik dan komponen virus lainnya digabungkan untuk membentuk virus baru.

5. Lisis (Lysis) atau Pelepasan (Release)

Pada akhir siklus, sel inang biasanya hancur, dan virus-virus baru dilepaskan ke lingkungan untuk menginfeksi sel-sel lain.

7.3. Infeksi Spesifik

Virus memiliki spesifisitas yang tinggi dalam memilih inangnya. Molekul-molekul pada permukaan virus harus sesuai dengan molekul reseptor pada sel inang agar infeksi berhasil. Hal ini menjelaskan mengapa virus tertentu hanya menginfeksi organisme tertentu dan tidak semua organisme yang mereka temui.

7.4. Pengaruh pada Tuan Rumah (Host)

Infeksi virus dapat menyebabkan berbagai efek pada sel inang, termasuk kerusakan sel, perubahan metabolisme, dan respons kekebalan tubuh. Efeknya bervariasi dari penyakit ringan hingga parah, tergantung pada jenis virus dan kekuatan sistem kekebalan tubuh inang.

7.5. Peran dalam Penyakit

Banyak penyakit pada manusia, hewan, dan tumbuhan disebabkan oleh infeksi virus, termasuk flu, AIDS, cacar, rabies, dan banyak lagi. Beberapa virus juga dapat berperan dalam penyakit kronis atau kanker, karena mereka dapat mengubah DNA inang.

7.6. Pengobatan dan Pencegahan

Pengobatan untuk infeksi virus melibatkan antivirus yang dirancang untuk menghambat replikasi virus atau meningkatkan sistem kekebalan tubuh. Pencegahan dapat dilakukan melalui vaksinasi, yang merangsang sistem kekebalan tubuh untuk melawan virus tanpa menyebabkan penyakit sebenarnya.

7.7. Peran dalam Ilmu Pengetahuan

Studi tentang virus adalah bagian penting dalam biologi molekuler dan mikrobiologi. Mereka telah memberikan wawasan tentang genetika dan biokimia sel.

7.8. Klasifikasi

Virus diklasifikasikan berdasarkan tipe asam nukleat (DNA atau RNA), arah untai (berantai tunggal atau ganda), dan karakteristik lainnya.

7.9. Ukuran Virus

Virus memiliki ukuran yang sangat kecil, biasanya berkisar antara 20 hingga 300 nanometer (nm). Sebagai perbandingan, sel-sel manusia memiliki ukuran sekitar 10 hingga 30 mikrometer (1 mikrometer = 1.000 nanometer), jadi virus umumnya ribuan kali lebih kecil daripada sel-sel inang mereka.

7.10. Materi Genetik

Materi genetik virus dapat berupa DNA atau RNA, bergantung pada jenis virus. Genom virus mungkin berantai tunggal (single-stranded) atau berantai ganda (double-stranded). Materi genetik virus mengandung informasi yang diperlukan untuk mereplikasi diri saat mereka menginfeksi sel inang.

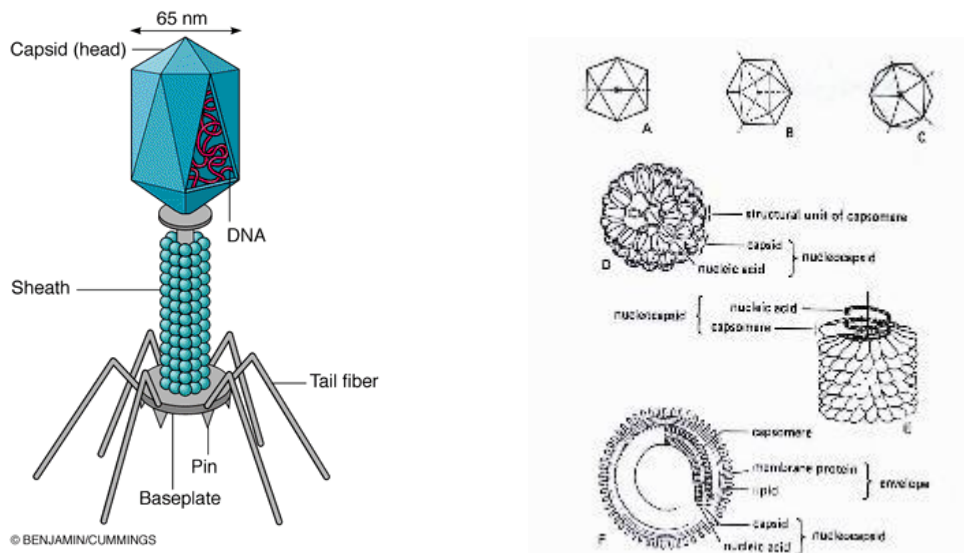
7.11. Struktur Tambahan

Beberapa virus memiliki struktur tambahan seperti serat-serat ekor, protein-spike, atau peplomer yang memungkinkan mereka berinteraksi dengan sel inang dan melekat pada reseptor sel inang.

7.12. Keragaman Struktural

Virus sangat beragam dalam struktur mereka. Meskipun ada beberapa kesamaan dalam jenis kapsid dan materi genetik, setiap jenis virus memiliki karakteristik unik yang membuatnya dikenali.

Perlu diingat bahwa virus adalah entitas biologis yang sangat sederhana dibandingkan dengan sel-sel inang mereka. Struktur yang efisien dan sederhana ini memungkinkan virus untuk dengan cepat menginfeksi sel inang, mereplikasi diri, dan menyebabkan penyakit pada organisme inangnya.



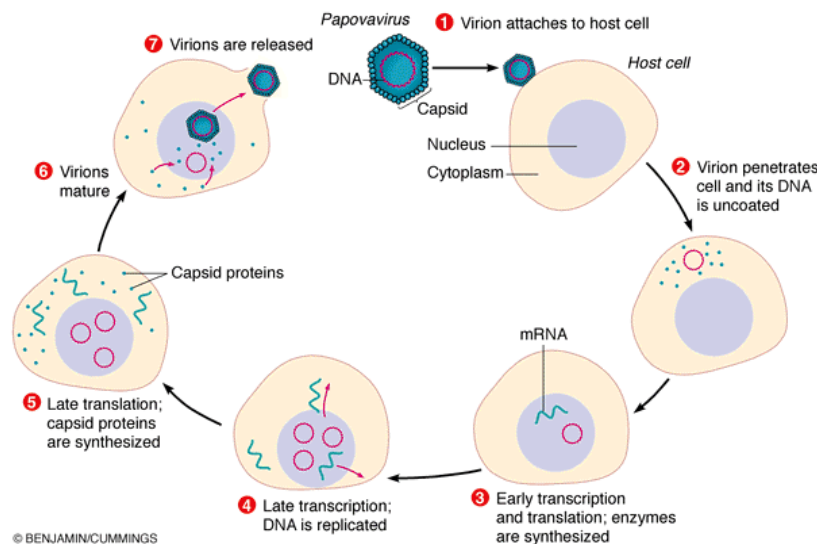
Gambar 21. Struktur Virus

7.13. Reproduksi Virus

1. Virus bereplikasi dengan memanfaatkan sel inang
2. Virus harus menempel pada sel inang yang tepat/rentan
3. Setelah menembus, DNA/RNA segera mensintesa partikel viral baru
4. Banyak virus bermutasi dengan cepat
5. Virus akan mempengaruhi metabolisme sel-sel inang
6. Sel-sel terinfeksi dapat membentuk interferon yang memproteksi sel yang tidak terinfeksi

7.14. Dasar klasifikasi virus : morfologi, genom, sifat-sifat fisiko-kimia dan fisik, sifat antigenik dan sifat biologis

1. Karakter genom yang dilihat antara lain: ukuran, bentuk, ada tidaknya peplomer dan sifatnya, ada tidaknya sampul, simetri dan struktur kapsid.
2. Sifat-sifat fisikokimia dan fisik meliputi antara lain: berat massa virion, koefisien sedimentasi virion, stabilitas terhadap pH, stabilitas terhadap suhu, stabilitas terhadap kation (Mg^{2+} , Mn^{2+}), densitas pengapungan virion (dalam CsCl, sukrosa), stabilitas terhadap pelarut, stabilitas terhadap deterjen, stabilitas terhadap iradiasi, dan protein.
3. Sifat antigenik yang dilihat misalnya sifat serologiknya.
4. Sifat-sifat biologisnya meliputi: inang, cara transmisi, hubungan dengan vektor, distribusi geografi, patogenisitas.



Gambar 22. Siklus hidup virus DNA

7.15. Fungi

Fungi (jamur) adalah salah satu dari lima kerajaan organisme dalam sistem klasifikasi makhluk hidup. Mereka adalah kelompok organisme eukariotik yang beragam dan memiliki peran penting dalam ekosistem.

1. Struktur dan Morfologi

- 1) Hifa

Hifa adalah unit struktural utama fungi. Mereka adalah serangkaian benang-benang tipis yang membentuk jaringan penyusun tubuh fungi. Hifa dapat bersifat uniselular (septat) atau multiselular (aseptat).

2) Misil

Misil adalah massa padat yang terbentuk dari hifa dan merupakan bagian utama dari tubuh fungi. Misium biasanya muncul sebagai jamur yang tampak di atas permukaan tanah atau substrat lainnya.

3) Spora

Fungi menghasilkan spora sebagai bagian dari siklus hidup mereka. Spora adalah sel reproduksi yang dapat berperan sebagai alat penyebaran dan pembentukan individu baru.

2. Metabolisme

Fungi adalah organisme heterotrof, yang berarti mereka tidak bisa membuat makanan mereka sendiri melalui fotosintesis. Sebaliknya, mereka mendapatkan nutrisi dengan cara menguraikan bahan organik lainnya. Proses penguraian ini disebut dekomposisi. Fungi adalah dekomposer utama dalam ekosistem, membantu mendaur ulang materi organik seperti daun mati dan kayu yang kemudian menjadi sumber nutrisi bagi organisme lain.

3. Reproduksi

Fungi memiliki berbagai cara untuk mereproduksi diri, termasuk secara seksual dan aseksual. Beberapa jenis fungi memiliki siklus hidup yang melibatkan keduanya. Reproduksi seksual melibatkan penyatuan dua jenis spora yang berbeda yang menghasilkan misium dengan genetik yang beragam. Reproduksi aseksual melibatkan pembentukan spora atau fragmen hifa yang tumbuh menjadi individu baru dengan genetik yang identik dengan induknya.

4. Peran Ekologis

Fungi memiliki peran ekologis yang penting dalam ekosistem. Mereka membantu mendaur ulang materi organik dan menguraikan senyawa-senyawa kompleks menjadi komponen yang lebih sederhana. Fungi juga berkolaborasi dalam hubungan simbiosis dengan berbagai organisme, seperti mikoriza (hubungan mutualisme dengan akar tanaman) dan lichen (hubungan mutualisme dengan alga atau sianobakteri).

5. Klasifikasi

Fungi dibagi menjadi beberapa filum, yang termasuk dalam kerajaan Fungi. Contoh filum fungi termasuk Ascomycota (khamir dan kapang), Basidiomycota (jamur kuping dan jamur tapis), dan Zygomycota (jamur beracun dan saprofit).

6. Peran dalam Kehidupan Manusia

Fungi memiliki peran yang beragam dalam hubungannya dengan manusia. Mereka digunakan dalam produksi makanan (khamir dalam pembuatan roti dan bir), dalam industri farmasi (produksi antibiotik), dan dalam penelitian ilmiah. Beberapa fungi dapat menjadi patogen dan menyebabkan penyakit pada manusia dan hewan, seperti jamur ragi *Candida* dan jamur penyebab athlete's foot.

7.16. Yeast

Yeast merupakan fungi uniseluler, non-filamentous, sel berbentuk sferikal atau oval. Bereproduksi secara mitosis : (1) Pembelahan sel: Membelah diri secara seimbang membentuk dua sel-sel baru (*Schizosaccharomyces*). (2) Yeast bertunas: Membelah diri secara tidak seimbang dengan membentuk tunas (*Saccharomyces*). Yeast bertunas dapat membentuk *pseudohypha*, rantai pendek sel-sel yang tidak terpisah a.

Yeast bersifat fakultatif ananerob, memungkinkan tumbuh pada beragam lingkungan. Yeast (ragi) adalah organisme mikro yang dapat ditemukan dalam berbagai lingkungan, termasuk dalam proses fermentasi makanan dan minuman, seperti roti, bir, dan anggur. Yeast memiliki kemampuan unik dalam melakukan fermentasi alkoholik, yang mana mereka mengubah gula menjadi alkohol dan gas karbon dioksida. Salah satu karakteristik penting dari yeast adalah bahwa mereka bersifat fakultatif anaerob.

Artinya, yeast memiliki kemampuan untuk tumbuh dan melakukan fermentasi baik dalam kondisi aerobik (ada oksigen) maupun anaerobik (tanpa oksigen). Inilah yang membedakan yeast dari beberapa organisme lain yang hanya dapat tumbuh dalam satu kondisi tertentu, baik dengan oksigen atau tanpa oksigen. Kemampuan yeast untuk melakukan fermentasi anaerobik adalah sangat penting dalam berbagai industri makanan dan minuman, seperti pembuatan roti, bir, dan anggur.

Yeast melakukan fermentasi anaerobik, mereka mengkonsumsi gula sebagai sumber energi dan menghasilkan alkohol (misalnya, etanol) dan karbon dioksida sebagai produk sampingan. Ini adalah proses yang penting dalam pembuatan berbagai produk fermentasi, termasuk roti (gas karbon dioksida menciptakan tekstur berongga pada roti) dan minuman beralkohol (alkohol adalah produk utamanya).

Namun, jika ada cukup oksigen tersedia, yeast dapat tumbuh dalam kondisi aerobik dan melakukan respirasi aerobik, yang menghasilkan lebih banyak energi daripada fermentasi. Dalam kondisi ini, yeast akan menggunakan oksigen untuk menguraikan gula sepenuhnya menjadi karbon dioksida dan air.

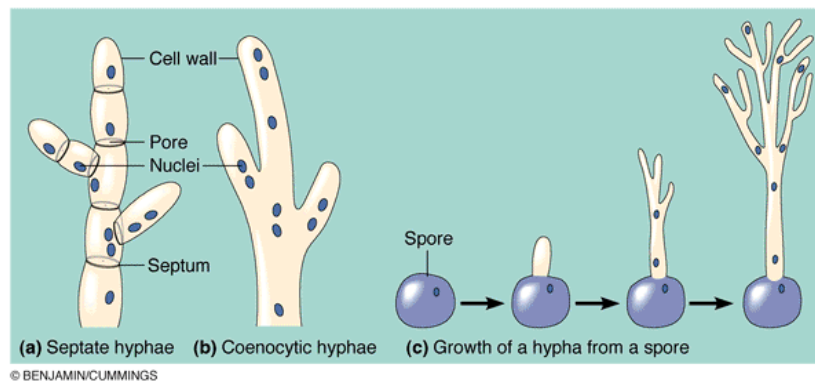
Kemampuan yeast untuk beradaptasi dengan baik dalam kondisi aerobik dan anaerobik memungkinkan mereka berperan dalam berbagai aplikasi industri, dan hal ini membuat mereka organisme yang sangat berharga dalam berbagai proses fermentasi dan produksi makanan dan minuman.

7.17. Jamur benang/mold dan jamur berbadan buah

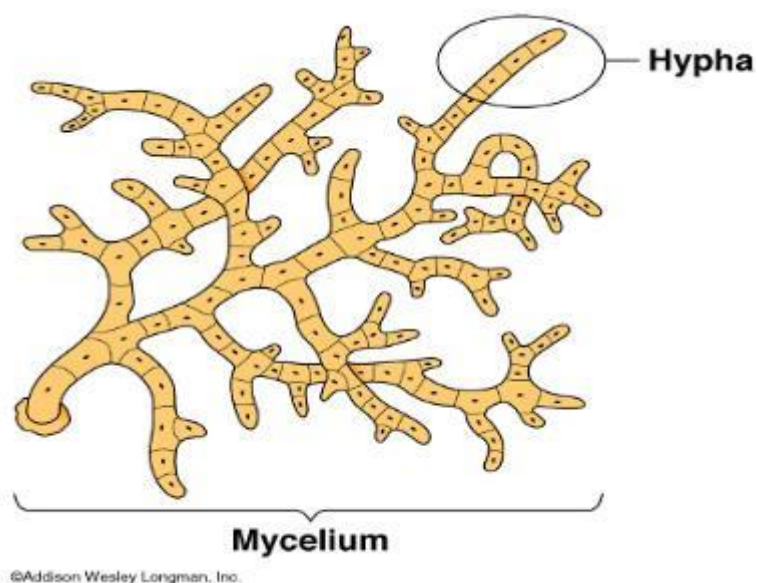
1. Multiseluler, berbentuk benang.
2. Diidentifikasi berdasar ciri fisik, ciri koloni dan spora reproduktifnya yaitu Talus, Hifae (Sing: Hifa): berseptat dan tidak, senositik dan miselium

7.18. Hifa

1. Hifa mampu tumbuh dengan pemanjangan ujung.
2. Hifa vegetatif: hifa yang digunakan untuk mendapatkan nutrisi
3. Hifa reproduktif atau aerial: hifa yang berkaitan dengan fungsi reproduksi.



Gambar 23. Karakteristik hifae fungi: berseptat versus senositik



Gambar 24. Miselium: massa hifae yang dapat dilihat mata

7.19. Siklus Hidup Fungi

1. Fungi berfilamen reproduksi aseksual-nya dengan fragmentasi hifa.
2. Spora fungi dibentuk dari hifae aerial dan dapat digunakan untuk reproduksi seksual dan aseksual. Spora aseksual dibentuk hifae aerial dari satu organisma yang identik induk. Contoh : Konidiospora: (1) Spora uniselular atau multiselular yang tidak disimpan di dalam kantung. (2) Khlamidospora: Spora berdinding tebal dibentuk di dalam segmen hifa. (3) Sporangiospora: Spora aseksual yang dibentuk di dalam kantung (*saccus*) (sporangium). Spora seksual dibentuk melalui fusi nuklei dari dua jenis kelamin berbeda spesies tersebut. Organisma baru membawa sifat kedua induk.
3. Adaptasi Nutrisional pada Fungi
 - 1) Fungi mengabsorpsi makanan.
 - 2) Tumbuh baik pada pH lingkungan agak asam (pH 5).
 - 3) Hampir semua jamur benang aerobik sedangkan fungi fakultatif anaerob.
 - 4) Lebih tahan tekanan osmotik dibanding bakteri.
 - 5) Fungi dapat tumbuh pada lingkungan dengan kelembaban rendah.
 - 6) Untuk pertumbuhannya fungi perlu sumber nitrogen lebih rendah dibanding bakteri.
 - 7) Fungi mampu memecah banyak ragam KH.

7.20. Algae

1. Algae eukaryotik multiseluler dan uniseluler
2. Algae Hijau: Uniseluler dan multiseluler.
3. Dinding sel mengandung selulosa, memiliki khlorofil a dan b, dan menyimpan cadangan pangan berupa pati. Umumnya mikroskopik dan hidup dekat permukaan air.
4. Algae coklat/perang: umumnya makroskopik.
5. Algae merah: hidup di perairan bebas dan dalam. Pigmen merah memungkinkan algae ini mengabsorpsi cahaya biru yang mampu melakukan penetrasi pada kolom air yang dalam.
6. Phyrophyta (Dinoflagellata)*: Algae uniseluler berenang bebas. Struktur kaku karena memiliki selulosa pada membran plasmanya. Sejumlah dinoflagellata menghasilkan neurotoksin yang membunuh ikan, mamalia laut dan manusia, antara lain (1) Paralytic shellfish poisoning: Consumption of clams and mussels that have eaten dinoflagellates (*Gonyaulax*) that produce neurotoxin. (2) Red Tide: Caused by large concentrations of (*Gonyaulax*).

7. Euglenophyta*: Algae uniseluler, berflagella, memiliki membran plasma semi-kaku karena memiliki pelikel (pellicle). Kebanyakan memiliki bintik mata anterior.

7.21. Protozoa

1. Jasad uniseluler, khemoheterotrof, eukaryotik, berukuran 2-5000 mm.
2. Kebanyakan hidup bebas menghuni lingkungan perairan dan tanah. Sebagian lainnya bersifat parasit atau simbiosis pada organisme lain.
3. Reproduksi aseksual dengan pembelahan biner, tunas atau schizogoni
4. Sejumlah protozoa juga melakukan reproduksi seksual secara konjugasi atau singami (*syngamy*)
5. Trophozoit: merupakan stadium vegetatif dimana protozoa akan memakan bakteri atau partikel makanan.
6. Kista: Sejumlah protozoa memproduksi kapsul pelindung untuk merespon kondisi yang tidak menguntungkan.
7. Cadangan makanan disimpan sebagai glikogen, pati dan lipid
8. Faktor-faktor yang mempengaruhi distribusi protozoa yang hidup bebas: Konsentrasi NaCl, pH, suhu, Kebutuhan oksigen
9. Nutrisi
 - 1) Sebagian besar bersifat aerob heterotrofik.
 - 2) Sebagian menelan organisme unisel yang lebih kecil (algae, yeast, bakteri, protozoan lain yang lebih kecil). Sebagian lainnya bersifat saprofitik dan parasitik.
 - 3) Sebagian mampu mentransport nutrisi melalui membran.
 - 4) Sebagian protozoa memiliki lapisan pelindung (pellicle) dan memiliki struktur yang terspesialisasi untuk memasukkan makanan ke dalam sel, contoh Ciliata memasukkan makanan menggunakan sitostoma.
 - 5) Pencernaan makanan berlangsung di vakuola.
 - 6) Limbah dibuang melalui membran plasma atau porus pembuangan

BAB VIII. BAKTERI PENYEBAB PENYAKIT

Bakteri adalah mikroorganisme yang dapat menyebabkan penyakit pada manusia, hewan, dan tumbuhan. Bakteri merupakan salah satu dari beberapa agen penyebab penyakit, yang lainnya termasuk virus, jamur, dan parasit.

8.1. Struktur Bakteri

Bakteri adalah organisme prokariota, yang berarti mereka tidak memiliki inti sel sejati (nukleus) dan organel-organel lain seperti sel eukariota. Namun, mereka memiliki struktur dasar yang memungkinkan mereka untuk bertahan hidup dan menyebabkan penyakit. Struktur utama bakteri meliputi:

1. Dinding Sel

Wadah luar yang memberikan bentuk dan perlindungan. Pada beberapa bakteri, dinding selnya mengandung peptidoglikan, yang merupakan target untuk beberapa antibiotik.

2. Membran Sel

Membran fosfolipid ganda yang mengelilingi sitoplasma bakteri. Ini berperan dalam regulasi transport zat ke dalam dan keluar sel.

3. Sitoplasma

Area dalam sel yang berisi berbagai makromolekul, seperti DNA, RNA, protein, dan ribosom.

4. Flagelum

Struktur berbentuk cambuk yang digunakan untuk pergerakan bakteri.

5. Pili dan Fimbriae

Struktur yang memungkinkan bakteri untuk melekat pada sel inang atau permukaan lainnya.

8.2. Cara Bakteri Menyebabkan Penyakit

Bakteri dapat menyebabkan penyakit dengan beberapa mekanisme, termasuk:

1. Toksigenesis

Bakteri dapat menghasilkan toksin, senyawa kimia beracun, yang dapat merusak sel-sel dan jaringan tubuh. Contoh bakteri yang menghasilkan toksin adalah *Clostridium tetani*, penyebab tetanus.

2. Invasi

Beberapa bakteri memiliki kemampuan untuk menembus dan menginvasi sel-sel tubuh inang. Misalnya, *Salmonella* dapat menembus sel epitel usus.

3. Peradangan

Bakteri dapat memicu respons peradangan yang kuat dari sistem kekebalan tubuh, yang dapat merusak jaringan dan menyebabkan gejala seperti demam, kemerahan, dan pembengkakan.

8.3. Contoh Penyakit Bakteri

Bakteri dapat menyebabkan berbagai penyakit pada manusia. Beberapa contoh penyakit bakteri meliputi:

1. Pneumonia

Penyakit paru-paru yang dapat disebabkan oleh bakteri seperti *Streptococcus pneumoniae* atau *Mycoplasma pneumoniae*.

2. Tuberkulosis

Penyakit paru-paru kronis yang disebabkan oleh *Mycobacterium tuberculosis*.

3. Gonore

Infeksi menular seksual yang disebabkan oleh bakteri *Neisseria gonorrhoeae*.

4. Infeksi Saluran Kemih (ISK)

Infeksi pada saluran kemih yang bisa disebabkan oleh berbagai jenis bakteri, seperti *Escherichia coli*.

5. Tetanus

Penyakit yang disebabkan oleh *Clostridium tetani* dan ditandai dengan kejang otot.

6. Infeksi Saluran Pernapasan

Misalnya, pneumonia (*Streptococcus pneumoniae*), bronkitis (*Haemophilus influenzae*), dan batuk rejan (*Bordetella pertussis*).

7. Infeksi Saluran Pencernaan

Contoh termasuk infeksi usus oleh *Escherichia coli* patogenik dan salmonellosis (*Salmonella* spp.).

8. Infeksi Menular Seksual (IMS)

Gonore (*Neisseria gonorrhoeae*) dan sifilis (*Treponema pallidum*).

9. Penyakit Menular Darah

Misalnya, sepsis yang disebabkan oleh berbagai bakteri.

10. Infeksi Kulit dan Jaringan Lunak

Misalnya, selulitis (*Streptococcus pyogenes*), dan infeksi luka (*Staphylococcus aureus*).

8.4. Bakteri patogen

Bakteri penyebab penyakit, juga dikenal sebagai bakteri patogen, adalah mikroorganisme yang memiliki kemampuan untuk menyebabkan penyakit pada manusia, hewan, atau tumbuhan. Mereka memiliki beberapa karakteristik yang membedakannya dari bakteri lainnya. Bakteri penyebab penyakit memiliki beberapa sifat yang membuat mereka patogenik, termasuk:

1. Kemampuan Invasi

Mampu menembus dan menginvasi jaringan atau sel inang, menggandakan diri di dalamnya, dan menyebabkan kerusakan.

2. Produksi Toksin

Banyak bakteri patogen menghasilkan toksin atau senyawa beracun yang merusak sel-sel inang atau sistem tubuh. Toksin ini bisa menyebabkan gejala penyakit.

3. Kemampuan Beradaptasi

Bakteri patogen seringkali memiliki kemampuan untuk beradaptasi dengan cepat terhadap tekanan seleksi, termasuk antibiotik, yang dapat membuat mereka lebih sulit diobati.

BAB IX. PERTUMBUHAN SEL

Pertumbuhan sel adalah proses di mana sel-sel individu dalam organisme meningkatkan ukuran atau jumlahnya. Pertumbuhan sel merupakan komponen kunci dalam pengembangan dan pemeliharaan organisme.

9.1. Pertumbuhan Sel pada Sel-sel Individu

1. Hipertrofi

Pertumbuhan sel yang terjadi ketika sel-sel individu meningkatkan ukuran mereka dengan mengakumulasi lebih banyak materi sel, seperti protein dan organel. Contoh hipertrofi adalah pertumbuhan otot saat latihan fisik yang berat.

2. Hiperplasia

Pertumbuhan sel yang terjadi ketika jumlah sel meningkat dalam suatu jaringan atau organ. Ini biasanya terjadi melalui pembelahan sel (mitosis) dan merupakan mekanisme penting dalam perkembangan organisme dan pemeliharaan jaringan.

9.2. Pertumbuhan Sel pada Organisme Keseluruhan

1. Pertumbuhan pada Organisme Uniseluler

Organisme uniseluler, seperti bakteri, tumbuh dengan meningkatkan jumlah sel melalui pembelahan sel. Ketika kondisi lingkungan memungkinkan, sel akan berkembang biak dengan membelah diri menjadi dua sel anak yang identik.

2. Pertumbuhan pada Organisme Multiseluler

Organisme multiseluler, seperti manusia, mengalami pertumbuhan melalui penambahan jumlah sel serta peningkatan ukuran sel individu. Proses ini terkait erat dengan pembelahan sel, yang menciptakan sel-sel baru untuk menggantikan yang mati dan memperbesar jaringan dan organ dalam tubuh.

9.3. Faktor-faktor yang Mempengaruhi Pertumbuhan Sel

1. Genetika

Faktor genetik memiliki peran penting dalam menentukan pola pertumbuhan sel. Gen-gen mengkode instruksi untuk pembelahan, diferensiasi, dan ukuran sel.

2. Nutrisi

Ketersediaan nutrisi seperti nutrisi esensial, vitamin, dan mineral sangat berpengaruh terhadap pertumbuhan sel. Sel memerlukan nutrisi untuk sintesis molekul penting dan energi.

3. Faktor Lingkungan

Suhu, kelembaban, oksigen, dan faktor lingkungan lainnya dapat mempengaruhi pertumbuhan sel. Organisme harus beradaptasi dengan kondisi lingkungan mereka untuk tumbuh dengan baik.

4. Hormon dan Sinyal Selular

Hormon dan sinyal selular juga mengatur pertumbuhan sel. Hormon pertumbuhan, misalnya, memainkan peran penting dalam pengaturan pertumbuhan pada organisme multiseluler.

Pertumbuhan sel adalah proses yang sangat teratur dan terkoordinasi yang melibatkan berbagai mekanisme regulasi seluler dan faktor pengatur. Hal ini penting untuk mempertahankan keseimbangan antara pembelahan, diferensiasi, dan kematian sel guna menjaga fungsi dan integritas organisme. Ketidakseimbangan dalam pertumbuhan sel dapat menyebabkan masalah seperti kelainan pertumbuhan atau kanker.

9.4. Pembelahan sel

Pembelahan sel adalah proses di mana satu sel induk membagi diri menjadi dua sel anak. Ini adalah salah satu aspek paling penting dalam kehidupan seluler karena merupakan mekanisme dasar pertumbuhan, perkembangan, perbaikan, dan pemeliharaan organisme. Pembelahan sel terjadi dalam dua bentuk utama: mitosis dan meiosis.

1. Mitosis

Mitosis adalah jenis pembelahan sel yang paling umum. Ini terjadi dalam sel somatik atau sel tubuh dan bertujuan untuk pertumbuhan dan perbaikan jaringan, pemeliharaan, serta reproduksi aseksual. Proses mitosis melibatkan beberapa tahap:

1) Interfase

Sel mempersiapkan diri untuk pembelahan dengan melakukan pertumbuhan, sintesis DNA, dan persiapan lainnya.

2) Profasa

Kromosom yang semula berbentuk benang menjadi lebih padat dan terlihat jelas. Nukleolus menghilang, dan inti sel mulai hancur.

3) Metafase

Kromosom-kromosom berbaris secara berurutan di tengah sel dalam bentuk piringan metafase.

4) Anafase

Kromatida saudara pada masing-masing kromosom dipisahkan dan ditarik ke arah kutub berlawanan oleh serat sentromer.

5) Telofase

Kromatida saudara mencapai kutub yang berlawanan, inti sel baru terbentuk, dan kromosom mulai mengendur.

6) Sitokinesis

Proses pembagian sitoplasma dimulai, menghasilkan dua sel anak yang identik secara genetik.

2. Meiosis

Meiosis adalah bentuk pembelahan sel yang khusus untuk produksi sel-sel reproduksi (sperma dan sel telur) dan menghasilkan keturunan dengan keragaman genetik. Ini melibatkan dua tahap pembelahan: meiosis I dan meiosis II, masing-masing dengan profasa, metafase, anafase, dan telofase, tetapi dengan perbedaan kunci:

- 1) Meiosis I menghasilkan dua sel anak dengan setengah jumlah kromosom (haploid) yang unik karena peristiwa pemilihan acak kromosom homolog.
- 2) Meiosis II mirip dengan mitosis, membagi dua sel anak haploid menjadi empat sel anak haploid dengan kombinasi genetik yang berbeda.

9.5. Komunikasi antar sel

Komunikasi antar sel adalah proses penting dalam biologi yang memungkinkan sel-sel individu dalam organisme untuk berinteraksi dan berkoordinasi dalam menjalankan fungsi-fungsi yang berbeda. Proses ini melibatkan berbagai sinyal kimia dan mekanisme yang sangat teratur.

1. Sinyal Kimia

1) Hormon

Hormon adalah molekul sinyal kimia yang diproduksi oleh kelenjar endokrin dan dilepaskan ke dalam aliran darah. Hormon dapat mencapai sel-sel target di seluruh tubuh dan mengatur berbagai proses, seperti pertumbuhan, metabolisme, dan perkembangan seksual.

2) Neurotransmitter

Neurotransmitter adalah molekul sinyal kimia yang digunakan oleh sel-sel saraf untuk berkomunikasi dengan sel-sel target di sistem saraf. Mereka memungkinkan transmisi impuls saraf di antara sel-sel saraf dan juga memainkan peran dalam fungsi otak dan sistem saraf pusat.

2. Reseptor Sel

Setiap sel memiliki reseptor di permukaannya yang mengenali molekul sinyal. Reseptor ini adalah protein yang terletak di membran sel atau dalam sitoplasma dan berikatan dengan

molekul sinyal yang sesuai. Setelah molekul sinyal mengikat ke reseptor, ini seringkali memicu perubahan dalam sel target, seperti aktivasi jalur sinyal khusus yang dapat memengaruhi respons selular.

3. Jalur Sinyal

Jalur sinyal adalah serangkaian reaksi kimia dalam sel yang diaktifkan oleh molekul sinyal. Ini melibatkan berbagai protein dan enzim yang berinteraksi untuk mengubah respons selular. Beberapa jalur sinyal paling umum termasuk jalur AMP siklik (cAMP), jalur fosfatidilinositol (PI3K-Akt), dan jalur mitogen-activated protein kinase (MAPK). Setiap jalur ini mengatur respons berbeda dalam sel target.

4. Komunikasi Sel-Sel Tetangga

Sel-sel sering berkomunikasi satu sama lain dalam konteks jaringan atau organ tertentu. Ini dapat terjadi melalui kontak fisik langsung atau melalui pelepasan sinyal-sinyal lokal seperti faktor pertumbuhan. Misalnya, sel-sel dalam jaringan saraf dapat berkomunikasi melalui sinapsis, di mana neurotransmitter dilepaskan oleh satu sel saraf dan diterima oleh sel saraf lainnya.

5. Koordinasi dan Regulasi

Komunikasi antar sel memungkinkan organisme untuk merespons perubahan lingkungan dan mengkoordinasikan aktivitas seluruh tubuh. Proses ini juga memainkan peran penting dalam perkembangan embrio, respons kekebalan, pemeliharaan homeostasis, dan banyak fungsi biologis lainnya.

Komunikasi antar sel adalah aspek sentral dalam biologi yang memungkinkan organisme untuk berfungsi secara efisien dan menjalani kehidupan yang sehat. Ini melibatkan berbagai jenis sinyal kimia, mekanisme reseptor, jalur sinyal, dan koordinasi antara sel-sel yang berbeda dalam tubuh. Keandalan proses ini memastikan respons yang tepat terhadap perubahan lingkungan dan pemeliharaan fungsi tubuh yang diperlukan.

BAB X. PERAN MIKROBA DALAM PERAIRAN

Mikroba, atau mikroorganisme, memainkan peran penting dalam ekosistem perairan dan memiliki dampak yang signifikan pada kualitas dan keseimbangan ekosistem tersebut.

10.1. Siklus Nutrien

Mikroba memegang peran utama dalam siklus nutrien dalam perairan. Mikroba seperti bakteri dan ganggang berperan dalam proses dekomposisi bahan organik, seperti daun, kayu, dan bangkai hewan. Proses ini mengubah materi organik kompleks menjadi senyawa yang lebih sederhana, seperti nutrien esensial nitrogen, fosfor, dan karbon. Nutrien ini kemudian tersedia untuk organisme lain dalam ekosistem perairan.

10.2. Proses Biokimia

Mikroba juga berperan dalam berbagai proses biokimia yang penting dalam perairan. Sebagai contoh, beberapa mikroba fotosintetik, seperti ganggang, menggunakan cahaya matahari untuk mengubah karbon dioksida dan air menjadi oksigen dan gula dalam proses fotosintesis. Proses ini memberikan oksigen yang diperlukan oleh organisme akuatik lainnya.

10.3. Pemurnian Air

Beberapa jenis mikroba, terutama bakteri, dapat digunakan dalam proses pemurnian air. Mikroba ini dapat menghilangkan polutan organik dan anorganik dari air, menjadikannya aman untuk konsumsi manusia dan lingkungan. Proses ini dikenal sebagai pengolahan air secara biologis.

10.4. Keseimbangan Ekosistem

Mikroba juga berperan dalam menjaga keseimbangan ekosistem perairan. Mereka berpartisipasi dalam rantai makanan sebagai produsen primer (ganggang), konsumen sekunder (bakteri pemakan ganggang), dan konsumen tersier (organisme planktonik dan akuatik lainnya). Peran mereka dalam rantai makanan membantu mengontrol populasi organisme di berbagai tingkat trofik dan menjaga keseimbangan ekosistem.

10.5. Menanggulangi Polusi

Beberapa mikroba memiliki kemampuan untuk mendegradasi polutan yang terdapat dalam perairan, seperti minyak, pestisida, dan logam berat. Bakteri pengurai minyak, misalnya, dapat membantu mengatasi dampak tumpahan minyak di perairan.

10.6. Produksi Makanan

Mikroba juga digunakan dalam industri perikanan dan akuakultur untuk produksi pakan dan probiotik yang dapat meningkatkan pertumbuhan dan kesehatan ikan dan organisme akuatik lainnya.

10.7. Indikator Kualitas Air

Beberapa mikroba digunakan sebagai indikator kualitas air. Misalnya, bakteri coliform dapat digunakan untuk mengukur tingkat pencemaran air dan menentukan apakah air tersebut aman untuk digunakan.

10.8. Siklus Karbon

Mikroba juga berperan dalam siklus karbon dalam ekosistem perairan. Mereka membantu mengendapkan karbon organik ke dalam lapisan dasar perairan dan tanah di sekitarnya, yang berkontribusi pada penyimpanan karbon dalam jangka panjang.

Tabel 9. Kelompok fungsional utama mikroba ototrofik perairan

| Sistem trofik | Prokaryotik | Eukaryotik |
|-------------------------|---|--------------------------------|
| Fototrofik oksigenik | Sianobakteria Bakteria fotosintetik | a.l Chlorophyta Chrysophyta |
| Fototrofik anoksigenik | <i>a.l Chromatium</i> <i>Chlorobium</i> <i>Thiocapsa</i> <i>Rhodobacter</i> <i>Rhodopseudomonas</i> | |
| Khemolitotrofik aerobik | <i>Bakteria pengoksidasi sulfur tak berwarna</i> <i>Thiosphaera</i> <i>Bakteria pengoksidasi mangan dan besi</i> <i>Bakteria nitrifikasi</i> | |

Pada Lingkungan Perairan Trofik

Densitas bakteri tinggi ($\pm 10^9/L$ vs. $\pm 10^8/L$ lingkungan temperate)

Aktivitas bakteri tinggi

Dekomposisi dan daur ulang senyawa anorganik cepat (4-9 x lebih cepat dari pada lingkungan temperate)

10.9. Habitat Lentik (*lentic habitats, standing water*) :

Habitat lentik adalah ekosistem perairan yang bersifat perairan tawar, dangkal, dan berada di daratan rendah. Habitat ini sering ditemukan di sekitar danau, kolam, rawa-rawa, sungai yang lambat alirannya, dan daerah genangan air lainnya. Berikut adalah beberapa karakteristik utama dari habitat lentik:

1. Air Tawar

Habitat lentik terdiri dari air tawar, yang berbeda dengan habitat lotik yang mengalir seperti sungai dan sungai kecil. Air dalam habitat ini biasanya cenderung lebih tenang daripada di habitat lotik.

2. Perairan Dangkal

Air dalam habitat lentik cenderung dangkal, sehingga cahaya matahari bisa menembus sampai ke dasar. Ini menciptakan kondisi yang cocok untuk pertumbuhan tumbuhan air seperti eceng gondok, anggrek air, dan ganggang.

3. Tumbuhan Air

Tumbuhan air sangat penting dalam habitat lentik. Mereka menyediakan tempat berlindung, makanan, dan oksigen bagi berbagai jenis makhluk hidup. Beberapa tumbuhan air bahkan dapat menutupi permukaan air, membentuk gulma air yang dapat menyediakan perlindungan bagi ikan dan makhluk lainnya.

4. Keanekaragaman Hayati

Habitat lentik sering memiliki keanekaragaman hayati yang tinggi. Anda dapat menemukan berbagai jenis ikan, amfibi, serangga air, katak, kura-kura, burung air, dan makhluk hidup lainnya yang hidup di dalam dan sekitar perairan ini.

5. Zona Berlapis

Seperti habitat air lainnya, habitat lentik dapat dibagi menjadi zona berlapis yang berbeda. Misalnya, zona perairan dangkal, zona dasar, dan zona vegetasi. Setiap zona ini dapat mendukung berbagai jenis organisme yang telah beradaptasi dengan kondisi tertentu.

6. Rentan Terhadap Pencemaran

Karena keanekaragaman hayati dan sensitivitasnya terhadap perubahan lingkungan, habitat lentik cenderung rentan terhadap pencemaran air dan degradasi habitat. Aktivitas manusia seperti limbah industri, pertanian, dan pembangunan dapat merusak habitat ini.

7. Manfaat Ekonomi dan Lingkungan

Habitat lentik memiliki manfaat ekonomi dan lingkungan yang besar. Mereka dapat digunakan untuk irigasi pertanian, budidaya ikan, dan sebagai sumber air minum. Selain

itu, mereka berperan penting dalam menjaga keseimbangan ekosistem dan penyediaan habitat bagi banyak spesies.

mikroorganisma pada *limnetic zone* (algae, cyanobacteria, pseudomonads)

mikroorganisma pada *profundal zone* (*purple and green sulfur bacteria*)

mikroorganisma pada *benthic zone* (*anaerobic bacteria including sulfate reducers & methanogens*)

10.10. Habitat Lotik (*lotic*)

Habitat lotik adalah ekosistem perairan yang mengalir, seperti sungai, sungai kecil, anak sungai, dan aliran air yang memiliki arus yang cukup kuat. Berikut adalah beberapa karakteristik utama dari habitat lotik:

1. Arus Air Habitat lotik ditandai dengan adanya aliran air yang bergerak secara terus-menerus. Arus ini bisa bervariasi mulai dari sungai besar dengan arus kuat hingga sungai kecil atau anak sungai dengan aliran yang lebih lambat.
2. Perubahan Kondisi^{**}: Kondisi di habitat lotik dapat berubah secara signifikan sepanjang sungai. Ini termasuk perbedaan dalam kecepatan arus, kedalaman air, suhu, dan tingkat oksigen terlarut. Kondisi ini dapat memengaruhi jenis makhluk hidup yang dapat ditemui di berbagai bagian sungai.
3. Substrat Beragam^{**}: Dasar sungai dalam habitat lotik seringkali terdiri dari substrat yang beragam, seperti batu, pasir, kerikil, dan lumpur. Berbagai jenis substrat ini memberikan tempat berlindung dan makanan bagi berbagai organisme air.
4. Keanekaragaman Hayati^{**}: Habitat lotik biasanya memiliki tingkat keanekaragaman hayati yang tinggi. Anda dapat menemukan berbagai jenis ikan, serangga air, amfibi, katak, kura-kura air, dan makhluk hidup lainnya yang hidup di dalam dan sekitar sungai. Banyak spesies ini telah beradaptasi dengan kondisi yang berubah-ubah dalam aliran air.
5. Zona-Zona Kehidupan^{**}: Habitat lotik dapat dibagi menjadi zona-zona kehidupan yang berbeda. Zona ini mencakup zona pelapukan, zona perairan cepat, dan zona perairan lambat. Setiap zona ini memiliki organisme yang beradaptasi dengan perubahan kondisi di sepanjang sungai.

6. Fungsi Ekosistem^{**}: Habitat lotik memiliki peran penting dalam menjaga keseimbangan ekosistem. Mereka menghasilkan oksigen, menyediakan habitat bagi makhluk hidup, menyaring air, dan memberikan sumber daya bagi masyarakat seperti air minum, irigasi pertanian, dan transportasi.
7. Pencemaran dan Degradasi^{**}: Habitat lotik rentan terhadap pencemaran air dan degradasi lingkungan akibat aktivitas manusia. Limbah industri, pertanian, dan pembangunan yang tidak terkendali dapat merusak ekosistem sungai dan mengancam keanekaragaman hayati di dalamnya.

Mata air miskin hara : algae fotosintetik $\sim 10^2$ - 10^8 sel/ml, mikroba heterotrof hingga (10^1 - 10^6 sel/ml)

Sungai: mikroba fotosintetik berkisar 10^0 - 10^8 sel/ml, mikroba heterotrofik mencapai 10^4 - 10^9 sel per ml

Habitat perairan laut : (1.) **neuston**, (2.) **pelagik**, (3.) **epibiotik**, dan (4.) **Habitat endobiotik**.

Epipelagik~gram-negatif, batang, beberapa dengan vakuola udara; a.l: *Alteromonas*, *Vibrio*, *Marinomonas*, dan *Photobacterium*, algae, sianobakteria.

Lingk. oligotrofik sianobakteria seperti *Trichodesmium*, *Nostoc* dan *Nodularia* penting karena kemampuannya mengikat N dan C

Cendawan $\sim 10^3$ - 10^4 sel/ml

Virus $\sim 10^6$ - 10^9 virion per ml

Eutrofikasi yaitu peristiwa masuknya nutrisi dalam jumlah berlebih ke suatu lingkungan perairan

Algal bloom hanya ~ spesies tunggal. *Emiliania huxleyi* memberi nuansa warna putih karena ekso-skeleton kalkareus yang dimiliki, dinoflagelata menyebabkan warna merah yang disebut *red-tides* (pasang merah)

Hal yang harus diperhatikan : (1) Peningkatan populasi (2) Perkiraan laju multiplikasi pada sistem kultur kontinu (3) Pengukuran aktivitas metabolik seperti: fotosintesa, respirasi, penggunaan substrat dan akumulasi produk

BAB XI. PROBIOTIK DALAM AKUAKULTUR

11.1. Probiotik

Probiotik dalam akuakultur didefinisikan sebagai mikroba (jasad renik) yang sengaja diberikan melalui makanan maupun media (lingkungan) dan bersifat menguntungkan bagi makhluk hidup atau hewan budidaya (dalam hal ini ikan)

Macam-macam probiotik dan cara kerjanya :

1. *Bacillus* spp. ~ Umumnya pengurai protein.
2. *B. subtilis* ~ (pengurai protein, lemak, karbohidrat),
3. *B. polymyxa* ~ (fixasi N₂), *B. megaterium* ~ (amonia – protein),
4. *B. licheniformis* ~ (pengguna nitrat),
5. *Lactobacillus* ~ (protein- asam laktat),
6. *Saccharomyces* sp ~ (pengurai KH),
7. *Rhizophus* sp ~ (peng. protein),
8. PSB ~ (pengguna amonia, nitrat dan asam organik), Nitrifikasi ~ (mengubah amonia – nitrit – nitrat), dll.

Denitrifikasi ~ (mengubah nitrat – gas nitrogen)

11.2. Fungsi dan manfaat probiotik

Fungsi probiotik :

1. Mengurangi bahan organik
2. Menghilangkan senyawa beracun (NH₃, NO₂⁻, H₂S)
3. Menekan bakteri merugikan dalam air
4. Interaksi dengan plankton
5. Menghasilkan enzyme dan nutrisi
6. Menekan bakteri merugikan dalam pencernaan
7. Meningkatkan kekebalan ikan

Manfaat Probiotik :

1. Memperbaiki Lingkungan
2. Mencegah terjadinya penyakit
3. Memperbaiki sistem pencernaan
4. Membantu meningkatkan jumlah makanan alami
5. Meningkatkan produktivitas

11.3. Probiotik, prebiotik dan synbiont

Probiotik adalah mikroba (jasad renik) yang sengaja diberikan melalui makanan maupun media (lingkungan) dan bersifat menguntungkan bagi makhluk hidup atau hewan budidaya. Prebiotik adalah substrat yang tidak bisa tercerna tetapi merangsang pertumbuhan probiotik dalam pencernaan. Synbiont adalah perpaduan antara probiotik dan prebiotik

11.4. Aplikasi dalam akuakultur

1. Aplikasi melalui air (mulai persiapan, rutin selama masa budidaya dan saat-saat isidentii)
2. Aplikasi melalui pakan (terprogram atau dgn fermentasi)
3. Aplikasi untuk dasar kolam (terprogram)

11.5. Probiotik pembentuk flocc

Bacillus sp., *Alcaligenes cupidus*, *B. subtilis* - (polysaccharida). *Nocardia amarae*, *B. licheniformis*, *Rh. erythropolis* – (floc protein). *Arcuadendron* sp., *Arathrobacter* sp. – (biofloc glycoprotein). *Alcaligenes eutrophus*, *Azotobacter vinelandii*, *Ps. oleovarians*, dll., - PHA (poly hidroksi alkanoat), *Vagococcus* sp -biofluculant MBFW31.

Tabel 10. Perombakan bahan organik

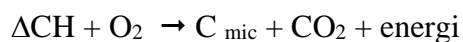
| No | Substrat | Enzyme mikro-organisme | Produk akhir yang mewakili | |
|----|-------------------------------------|------------------------|---|---|
| | | | Kondisi Anaerob | Kondisi Aerob |
| 1 | Protein dan Persenyawaan N-organik | Protease → | As.Amino, NH ₃ , N ₂ , H ₂ S, CH ₄ , CO ₂ , H ₂ , alkohol, as. organik, Ind ol | AS. AMINO → NH ₃ → NO ₂ ⁻ → NO ₃ ⁻ H ₂ S → H ₂ SO ₄ Alkohol, As. Org → H ₂ O + CO ₂ |
| 2 | Karbohidrat (amilum, selulose, dll) | Amilase → | Alkohol, As. Lemak, CO ₂ , H ₂ , Persenyawaan Netral | Alkohol, As. Lemak → CO ₂ + H ₂ O |
| 3 | Lemak dsb. | Lipase → | As. Lemak, gliserol, H ₂ , alkohol, asam lemak rendah | As. Lemak, Gliserol, Alkohol → CO ₂ + H ₂ O |

11.6. Efisiensi karbon

Efisiensi metabolisme karbon (ξ) adalah besarnya prosentase karbon yang disintesis menjadi protein sel bakteri dari sejumlah sumber karbon yang diuraikan.



$$36 C \rightarrow 20 C \text{ mikroba} + 16 CO_2 \text{ --- } \xi = 20/36 = 55\%$$



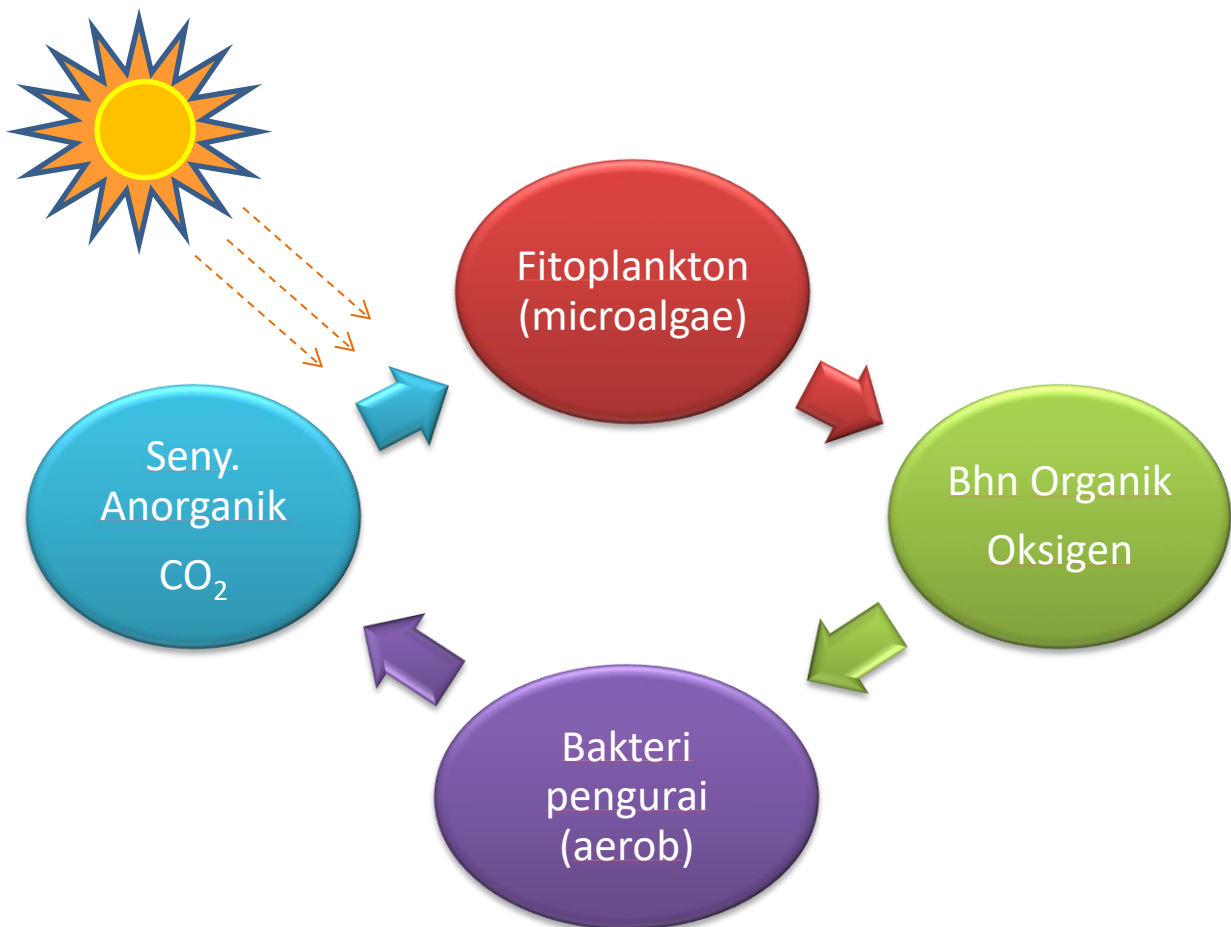
$$\xi = \frac{C_{mic}}{\Delta C} \quad \sim \text{nilai } x = 40 - 60\%$$

$$\Delta C = \Delta CH \times \% C$$

Keterangan :

ΔCH = karbohidrat, ΔC = karbon organik, $\% C$ = prosentase C,

C_{mic} = karbon yang diubah menjadi sel mikroba



Gambar 25. Saling ketergantungan antara microalgae (phytoplankton) dan bakteri pengurai di dalam perairan

11.7. Proses perombakan bahan organik

Contoh perombakan asam cuka

| | |
|-----------------------------|---|
| AEROBIC | <ul style="list-style-type: none">• MEMERLUKAN OKSIGEN $\text{CH}_3\text{COOH} + \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{CO}_2 + 2 \text{H}_2\text{O} + 206.4 \text{ kcal}$ |
| ANAEROBIC | <ul style="list-style-type: none">• TIDAK MEMERLUKAN OKSIGEN $\text{CH}_3\text{COOH} \rightarrow 2 \text{CO}_2 + \text{CH}_4 + 9.0 \text{ kcal}$ |
| ANAEROBIC FAKULTATIF | <ul style="list-style-type: none">• TIDAK MENGGUNAKAN OKSIGEN BEBAS $\text{CH}_3\text{COOH} + \text{SO}_2^- + \text{H}^+ \rightarrow 2 \text{CO}_2 + 2 \text{H}_2\text{O} + \text{H}_2\text{S} + 10.9 \text{ kcal}$ |

Pengelolaan perombakan bahan organik pada kolam lele :

1. Bahan organik berasal dari sisa pakan, kotoran ikan dan jasad / plankton yang mati, pupuk organik dan fermentasi.
2. Bahan organik yang tinggi merangsang perkembangan bakteri
3. Perombakan harus terjadi secara aerobik (cukup oksigen), bila kondisi kurang oksigen (anaerob) akan menimbulkan senyawa beracun, bau, dll.
4. Aerasi sangat diperlukan karena : (1) mencegah stratifikasi air, sehingga homogen, (2) menambah oksigen terlarut, (3) mengeluarkan CO₂, (4) menjaga agar bahan organik dan floc selalu dalam keadaan tersuspensi dalam kolom air.

11.8. Pengendalian Amonia

Pengendalian amonia mengacu pada berbagai metode dan tindakan yang dilakukan untuk mengatur atau mengurangi kadar amonia (NH_3) dalam lingkungan, terutama dalam konteks lingkungan air dan udara. Amonia adalah senyawa kimia yang mengandung nitrogen dan sering kali dapat menjadi polutan yang berbahaya jika melebihi ambang batas yang diizinkan. Berikut adalah beberapa metode umum untuk mengendalikan amonia:

1. Pengelolaan Limbah:

Pengendalian amonia seringkali dimulai dengan manajemen limbah industri, pertanian, dan perkotaan. Ini melibatkan pengurangan pelepasan amonia dari sumber-sumber seperti industri kimia, peternakan, dan instalasi pengolahan air limbah.

2. Penggunaan Teknologi Pengolahan Air:

Instalasi pengolahan air limbah (IPAL) dapat menggunakan berbagai teknologi untuk menghilangkan amonia dari air limbah sebelum dibuang ke lingkungan. Metode umum termasuk pengolahan biologis dengan bakteri nitrifikasi yang mengubah amonia menjadi nitrat, serta adsorpsi atau penggunaan zat penyerap untuk menangkap amonia.

3. Pertanian Berkelanjutan:

Di sektor pertanian, penggunaan pupuk yang bijaksana dan teknik manajemen pertanian berkelanjutan dapat membantu mengurangi pelepasan amonia ke lingkungan. Ini termasuk penerapan dosis yang tepat, penjadwalan pemberian pupuk, dan penggunaan teknik konservasi tanah.

4. Penggunaan Additif Pengikat Amonia:

Beberapa industri dan instalasi pengolahan air menggunakan additif pengikat amonia untuk mengikat amonia dan mencegahnya masuk ke lingkungan. Additif ini dapat digunakan dalam sistem pengolahan air limbah atau dalam proses produksi industri.

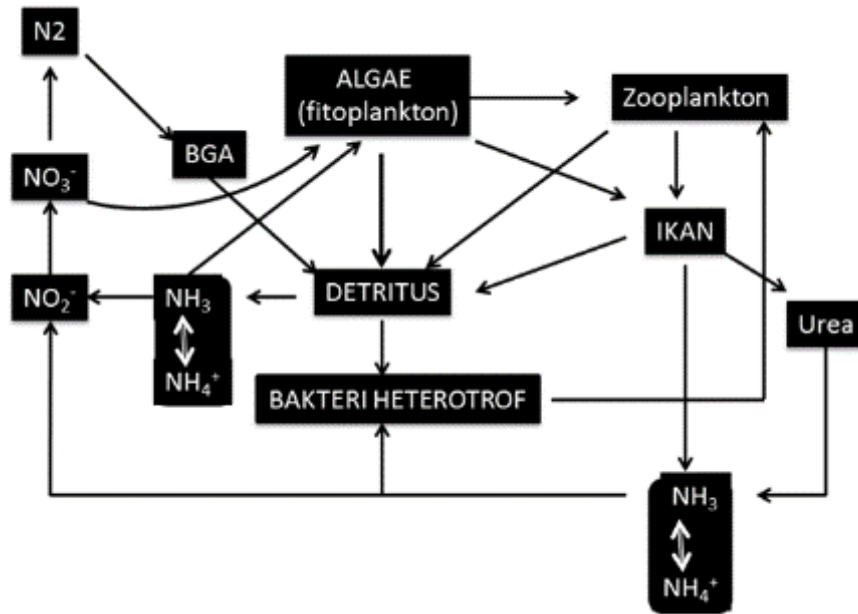
5. Pemantauan Lingkungan:

Pemantauan rutin kadar amonia dalam air dan udara sangat penting untuk mengidentifikasi sumber polusi amonia dan mengukur efektivitas upaya pengendalian. Data pemantauan ini dapat digunakan untuk menentukan tindakan perbaikan yang diperlukan.

6. Regulasi Lingkungan:

Pemerintah dan lembaga lingkungan memiliki peran penting dalam mengendalikan amonia dengan mengeluarkan regulasi dan batasan emisi amonia. Peraturan ini bertujuan untuk melindungi kualitas air dan udara serta kesehatan masyarakat.

Pengendalian amonia sangat penting karena amonia yang berlebihan dapat menyebabkan pencemaran air, mengganggu ekosistem akuatik, dan berkontribusi pada masalah seperti "dead zones" di laut. Selain itu, amonia juga dapat berdampak negatif pada kualitas udara dan kesehatan manusia jika terlalu banyak terdapat di atmosfer. Oleh karena itu, upaya untuk mengendalikan amonia harus dilakukan dengan serius dan berkelanjutan untuk menjaga lingkungan yang sehat dan berkelanjutan.

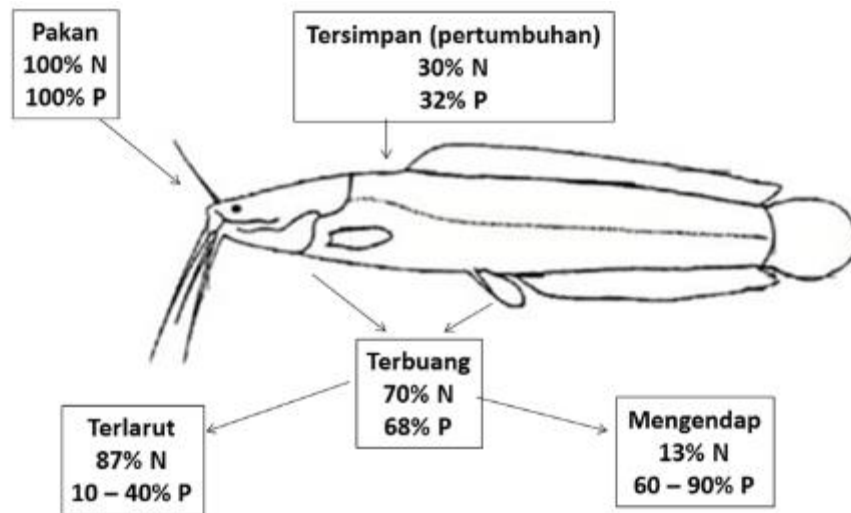


Gambar 26. Siklus nitrogen di alam

11.9. Amonia dalam kolam

Sumber :

1. Dari pernafasan ikan
2. Perombakan protein dan senyawa N-organik dalam kolam (sisa pakan, feces, urine dan jasad yang mati).
3. Dari sumber air dan pupuk Nitrogen (urea, ZA)



Gambar 27. Pemanfaatan N dan P dalam pakan oleh ikan
(Ramseyer and Donald L. Garling, 1993)

Pengelolaan amonia :

1. Pengenceran dengan pergantian air
2. Fotoautotrof dengan memanfaatkan microalgae (tanaman air)
3. Kemoautotrof dengan memanfaatkan bakteri Nitrifikasi
4. Heterotrof dengan memanfaatkan bakteri heterotrof aerobik ($C/N > 12$) dan memanfaatkan PSB, Yeast dan jamur.
5. Perlakuan dengan bahan tertentu dengan penambahan zeolite, arang, ekstrak Yucca

BAB XII. BIOFILM

12.1. Biofilm

Biofilm merupakan sistem mikrobial yang terorganisir sebagai lapisan-lapisan sel-sel mikroba yang saling terikat pada suatu matriks polisakarida produk ekstra seluler komunitas mikroba pada suatu permukaan benda. Penyusun biofilm adalah (1) Sel-sel mikroba (2) Polimer ekstra seluler (a.l. polisakarida, glikoprotein) (3) Partikel atau materi terlatut yang terjebak dan (4) Air.

Biofilm dapat berupa komunitas mikroorganisme yang terdiri dari bakteri, arkea, alga, jamur, dan/atau protozoa yang melekat pada permukaan padat, cairan, atau bahkan antarmuka udara-cairan, seperti yang sering ditemukan pada permukaan batu, gigi manusia, pipa saluran air, implikasi medis seperti infeksi perangkat medis, dan banyak lingkungan lainnya. Biofilm terdiri dari sel-sel mikroorganisme yang terbenam dalam matriks polisakarida yang diproduksi oleh mereka sendiri, bersama dengan senyawa organik dan anorganik lainnya yang tertimbun dalam matriks ini. Berikut adalah beberapa karakteristik biofilm:

1. Komunitas Mikroorganisme

Biofilm terdiri dari berbagai jenis mikroorganisme yang hidup bersama dalam suatu koloni terstruktur. Ini bisa mencakup berbagai spesies bakteri, baik yang menguntungkan maupun patogen.

2. Matriks Polisakarida

Biofilm dibungkus oleh matriks polisakarida yang diproduksi oleh mikroorganisme di dalamnya. Matriks ini bertindak sebagai pelindung dan struktur pendukung bagi sel-sel mikroorganisme dalam biofilm.

3. Kelekatannya

Biofilm sangat melekat pada permukaan yang ditempati. Kelekatannya kuat, dan ini membuat biofilm sulit dihilangkan secara mekanis atau dengan desinfektan biasa.

4. Perlindungan

Sel-sel mikroorganisme dalam biofilm cenderung lebih tahan terhadap tekanan lingkungan dan pengobatan antimikroba dibandingkan dengan mikroorganisme bebas yang tidak terikat dalam biofilm. Ini karena matriks polisakarida melindungi mereka dan mengurangi akses zat antimikroba.

5. Potensi Patogen

Biofilm seringkali menjadi tempat hidup bagi mikroorganisme patogen, termasuk bakteri penyebab infeksi manusia. Biofilm pada permukaan medis, seperti kateter, bisa menjadi sumber infeksi.

6. Peran Lingkungan

Biofilm memiliki peran penting dalam berbagai ekosistem. Mereka dapat membantu dalam siklus biogeokimia dengan mengikat dan menguraikan senyawa kimia tertentu.

7. Pengaruh Medis

Biofilm dapat menyebabkan masalah kesehatan manusia, seperti infeksi perangkat medis, infeksi pada gigi (plak gigi), dan infeksi saluran kemih, yang seringkali sulit diobati.

8. Pembersihan dan Pengendalian

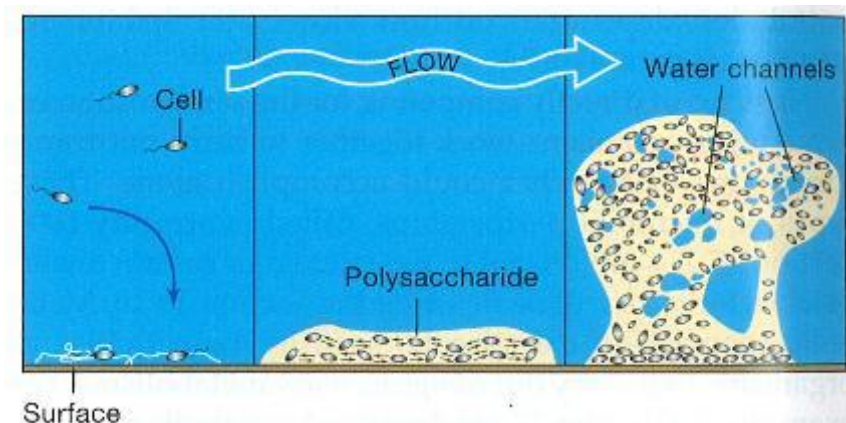
Mengendalikan atau menghilangkan biofilm bisa menjadi tantangan, dan seringkali memerlukan pendekatan yang berbeda dengan mikroorganisme bebas. Ini melibatkan penggunaan desinfektan khusus, teknologi mekanis, atau perawatan lainnya.

9. Studi Ilmiah

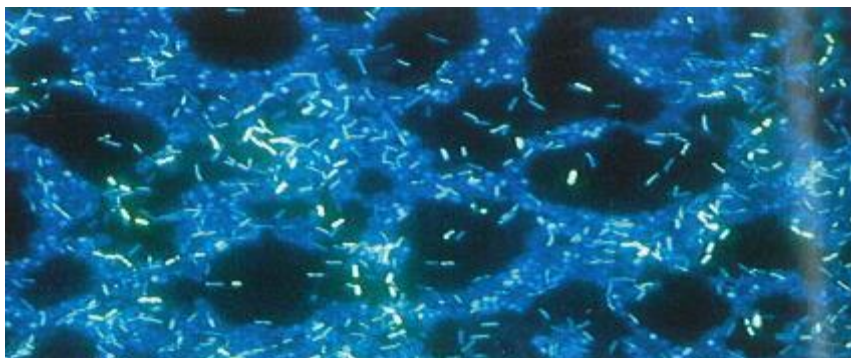
Biofilm adalah subjek penelitian yang aktif dalam ilmu mikrobiologi dan ilmu lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk memahami cara membentuk, mempertahankan, dan mengatasi biofilm serta potensinya dalam berbagai aplikasi.

Pemahaman tentang biofilm telah membantu dalam pengembangan strategi pencegahan dan pengobatan terhadap masalah kesehatan dan lingkungan yang berkaitan dengan biofilm ini.

- Biofilm, koloni sel-sel mikroba yang terbentuk sebagai suatu lapisan lendir berpori dan melekat pada suatu permukaan
- pembentukan *microenvironment*
- Biofilm yang tebal: *microbial mats*
- Pembentukan biofilm
 - Pelekatan (1) Merupakan ekspresi gen-gen spesifik (2) *A.l. Pseudomonas aeruginosa* (HSL/homoserine lactone) (3) Komunikasi sel dengan sel (quorum sensing)
 - Kolonisasi, Pembentukan eksopolisakarida
 - Pemeentukan/perkembangan, Pembentukan lapisan-lapisan



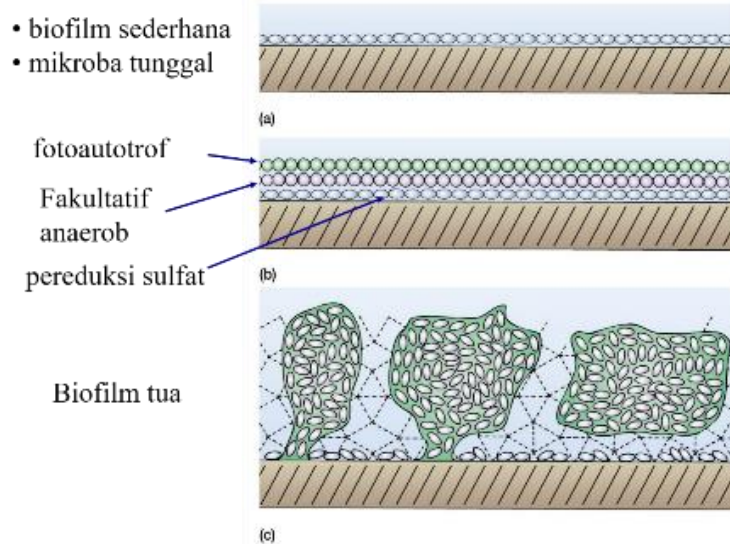
Gambar 28. Pembentukan biofilm



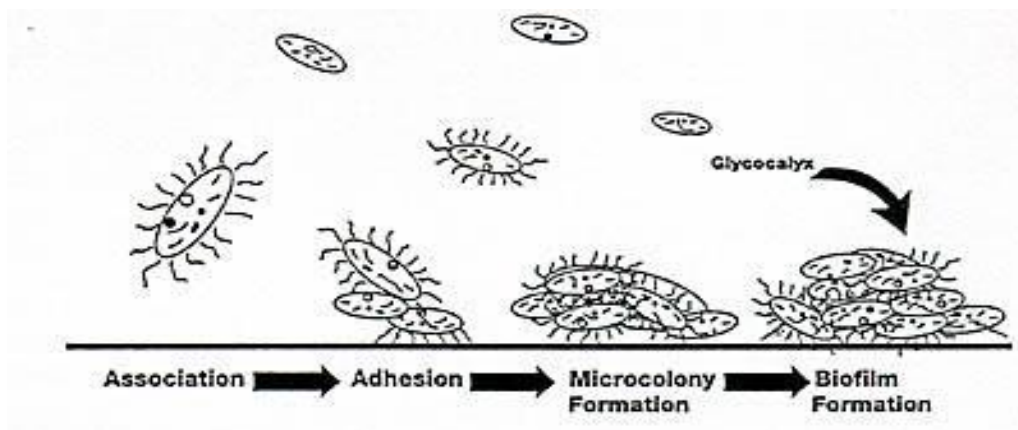
Gambar 29. Biofilm pada pipa stainlesssteel yang dicat DAPI

12.2. Faktor pembedakan biofilm

1. Pertahanan diri
 - 1) Tahan terhadap tekanan fisik force
 - 2) Mencegah fagositosis
 - 3) Bertahan terhadap penetrasi senyawa beracun (a.l. antibiotik)
2. Memungkinkan sel-sel tetap pada lingkungan yang sesuai, yaitu dengan mengikat bakteri pada lokasi dimana ketersediaan nutrisi lebih terjamin
3. Memungkinkan sel-sel bakteri hidup dalam ikatan yang erat satu dengan yang lain dengan quorum sensing (mekanisme kimia) dan pertukaran massa genetik
4. Kemungkinan merupakan cara khas sel-sel bakteri tumbuh di alam



Gambar 30. Sel-sel planktonik dan *sessile*



Gambar 31. Representatif biofilm

- Bakteri seperti *Pseudomonas aeruginosa* memiliki gen (a.l.) *algC* yang secara otomatis dalam 15 menit setelah melekat pada permukaan benda akan mensintesa matrik alginat atau polisakarida lain.
- Banyak mikroba pembentuk biofilm menghasilkan banyak protein yang hanya berlangsung ketika melekat pada suatu benda.
- Pembentukan matriks juga diatur oleh "quorum" yaitu sinyal yang dilakukan antar sel dan biasanya terjadi setelah sel mencapai jumlah tertentu. Sinyal dibawa oleh molekul a.l. *acylated homoserine lactones*.

12.3. Faktor-faktor yang mempengaruhi pembentukan biofilm

1. Substrat (Sifat permukaan, hidrofobisitas, pengaturan oleh medium)
2. Kecepatan aliran VS kekuatan gesekan
3. Lingkungan fisika dan kimia
4. Komponen penyusun permukaan sel bakteri

12.4. Biofilm berpengaruh pada manusia antara lain :

1. Medik (Pembentukan plaque gigi, *Infeksi staphylococcus*, Batu ginjal dll.)
2. Komersial (Menghambat aliran minyak, air minum atau materi cair lainnya)
3. Lingkungan perairan

12.5. Keuntungan biofilm

1. Perlindungan (antibiotik, toksin, sel-sel imun)
2. Sumber cadangan makanan (dalam bentuk polisakarida)
3. Lingkungan mikro yang sesuai (Sangat terhidrasi, Oksigen rendah)
4. Stabilitas – dapat melekat dan lepas
5. Komunitas (Transfer gen, aliran rangsang/transduksi signal, quorum sensing)

DAFTAR PUSTAKA

- Adams, A. and Thompson, K.D. 2011. Development of diagnostics for aquaculture: challenges and opportunities. *Aquaculture Research*. 42: 93-102.
- Anderson, I.G., Shariff, M., Nash, G., Nash, M., 1987. Mortalities of juvenile shrimp, *Penaeus monodon*, associated with *Penaeus monodon* baculovirus, cytoplasmic reo-like virus, and rickettsial and bacterial infections from Malaysian brackish water ponds. *Asian Fish. Sci.* 1: 47–64.
- Al Kholif, M (2020). *Pengelolaan Air Limbah Domestik*. Scofindo. Surabaya.
- Bell, T.A. and Lightner, D.V. 1984. IHNV virus: infectivity and pathogenicity studies in *Penaeus styliostris* and *Penaeus vannamei*. *Aquaculture*. 38, 185– 194.
- Bonami, J.R., Trumper, B., Mori, J., Brehelir, M., Lightner, D.V., 1990. Purification and characterisation of the infectious hypodermal and hematopoietic necrosis virus of penaeid shrimps. *J. Gen. Virol.* 71: 2657–2664.
- Bitton, G. (1999). *Wastewater Microbiology*. Wiley-Liss. New York.
- Dewata, Indang and Danhas, Yun Hendri (2018) *Pencemaran Lingkungan*. In: *Pencemaran Lingkungan*. Rajawali Press, Depok, pp. 1-256. ISBN 978-602-425-511-4
- Edwin, T. & Mera, M. (2019). Bioremediasi dengan Metode Komposting untuk Biodegradasi Pestisida Pada Tanah. pp. 1009–1017 [Online]. Available : <https://conference.ft.unand.ac.id/index.php/ace/Ace2019/paper/viewPDFInterstitial/1134/371>.
- Irianto, A. (2002). *Mikrobiologi Lingkungan*. Jakarta: Open University Press.
- Maida, S., & Lestari, K. A. P. (2019). Aktivitas Antibakteri Amoksisilin Terhadap Bakteri Gram Positif Dan Bakteri Gram Negatif. *Jurnal Pijar Mipa*, 14(3), 189–191. <https://doi.org/10.29303/jpm.v14i3.1029>
- Maier, M.R.; Pepper, I.L. & Gerba, C.P. (1999) *Environmental Microbiology*. Academic Press. San Diego.
- Mitchell, R. (1992) *Environmental Microbiology*. Wiley-Liss. New York.
- Pratiwi, R. H. (2017). MEKANISME PERTAHANAN BAKTERI PATOGEN TERHADAP ANTIBIOTIK. *JurnalPro-Life*, 4(3),418-429. <https://doi.org/10.33541/jpvol6Iss2pp102>
- Rheinheimer, G. (1992). *Aquatic Microbiology*. 4th Ed. John Wiley & Sons. Chichester.
- Varnam, A.H. & Evans, M.G. (2000). *Environmental Microbiology*. Manson Publishing Ltd. London.