

**MIKROBIOLOGI LINGKUNGAN**  
**(MIKROBIOLOGI TANAH dan MIKROBIOLOGI AIR)**

Oleh : Dra. Yanti Hamdiyati, M.Si.

**TPU :** Mahasiswa memahami peranan mikroorganisma dalam lingkungan (tanah dan air) melalui percobaan dan diskusi

**TPK:**

- Melalui diskusi mahasiswa dapat menyebutkan contoh peran mikroba tanah yang menguntungkan dan merugikan
- Melalui diskusi mahasiswa dapat menjelaskan siklus karbon dan Nitrogen, serta keterlibatan mikroorganisme pada kedua siklus tersebut
- Melalui diskusi, mahasiswa dapat membedakan ektomikoriza dan endomikoriza
- Melalui diskusi mahasiswa dapat menjelaskan proses pembentukan nodul
- Setelah praktikum isolasi bakteri tanah yang bersimbiosis dan tidak simbiosis, mahasiswa dapat membedakan karakteristik bakteri *Rhizobium* dengan *Azotobacter*
- Melalui diskusi mahasiswa dapat menyebutkan contoh peran mikroba air yang menguntungkan dan merugikan
- Setelah melakukan praktikum enumerasi, mahasiswa dapat menghitung jumlah bakteri dalam sample minuman
- Setelah melakukan praktikum uji kualitatif dan kuantitatif bakteri Coliform, mahasiswa dapat menentukan jumlah bakteri coliform dan jenisnya.
- Melalui diskusi mahasiswa dapat menjelaskan proses pengolahan limbah secara mikrobiologi
- Melalui diskusi mahasiswa dapat menjelaskan tentang bioremediasi

Setelah perkuliahan tentang pokok bahasan ini selesai, mahasiswa dapat :

1. menjelaskan masing-masing satu contoh peran mikroba yang menguntungkan dan merugikan
2. menjelaskan siklus karbon dan nitrogen serta keterlibatan mikroorganisme pada kedua siklus tersebut
3. membedakan ektomikoriza dan endomikoriza
4. membedakan karakteristik bakteri *Rhizobium* dengan *Azotobacter*
5. menentukan kualitas air dengan metode enumerasi dan uji kualitatif kuantitatif Coliform
6. menjelaskan proses pengolahan limbah secara mikrobiologi
7. menjelaskan tentang bioremediasi

## A. MIKROBIOLOGI AIR (AKUATIK)

Air merupakan materi penting dalam kehidupan. Semua makhluk hidup membutuhkan air. Misalnya sel hidup, baik hewan maupun tumbuhan, sebagian besar tersusun oleh air, yaitu lebih dari 75% isi sel tumbuhan atau lebih dari 67% isi sel hewan. Dari sejumlah 40 juta mil-kubik air yang berada di permukaan dan di dalam tanah, ternyata tidak lebih dari 0,5% (0,2 juta mil-kubik) yang secara langsung dapat digunakan untuk kepentingan manusia. Karena dari jumlah 40 juta mil-kubik, 97% terdiri dari air laut dan jenis air lain yang berkadar-garam tinggi, 2,5% berbentuk salju dan es-abadi yang dalam keadaan mencair baru dapat dipergunakan secara langsung oleh manusia.

Kebutuhan air untuk keperluan sehari-hari, berbeda untuk setiap tempat dan setiap tingkatan kehidupan. Biasanya semakin tinggi taraf kehidupan, semakin meningkat pula jumlah kebutuhan air. Di Indonesia, berdasarkan catatan dari Departemen Kesehatan, rata-rata keperluan air adalah 60 liter per kapita, meliputi (Tabel 2.) :

Tabel 2 Kebutuhan air per kapita di Indonesia.

<i>Air untuk keperluan</i>	<b>Jumlah (liter)</b>
Mandi	30
Mencuci	15
Masak	5
Minum	5
Lain-lain	5

Keperluan air per kapita di negara-negara maju, jauh lebih tinggi dari keperluan di Indonesia, misalnya untuk Amerika Serikat (Chicago: 800 L, Los Angeles: 640 L), Perancis (Paris: 480 L), Jepang (Tokyo: 530 L), dan Swedia (Uppsala: 750 L).

Sejalan dengan kemajuan dan peningkatan taraf kehidupan, tidak dapat dihindari adanya peningkatan jumlah kebutuhan air, khususnya untuk keperluan rumah tangga, sehingga berbagai cara dan usaha telah banyak dilakukan untuk memenuhi kebutuhan air, antara lain dengan :

- Mencari sumber-sumber air baru (air-tanah, air danau, air sungai, dan sebagainya);
- Mengolah dan mentawarkan air laut;
- Mengolah dan memurnikan kembali air kotor yang berada di sungai, danau, dan sumber lain yang umumnya telah tercemar baik secara fisik, kimia maupun mikrobiologis.

Pada pokok bahasan ini yang akan dibahas tentang hanya mikrobiologi air tawar

## MIKROBIOLOGI AIR TAWAR

Zonasi ekosistem air tawar dan organisme yang hidup di dalamnya dapat dilihat pada gambar . Air alami yang berada di sungai, kolam, danau, dan sumber air lainnya, dengan rumus :  $H_2O + X$ , dimana X merupakan faktor yang bersifat hidup (biotik) maupun tidak hidup (abiotik)

Komponen kehidupan di dalam air, terdiri dari

1. Mikroba : bakteri, jamur, mikroalga, protozoa, virus
2. Hewan dan tumbuhan air

Mikroba dalam air ada yang menguntungkan dan ada yang merugikan. Mikroba air yang menguntungkan, berperan sebagai :

- Makanan ikan : fitoplankton dan zooplankton. Contoh : mikroalga (*Chlorella*, *Scenedesmus*, *Hydrodictyon*, *Pinnularia*, dan lain-lain)
- Dekomposer : pengolahan limbah secara biologis
- Produsen : adanya mikroalga yang dapat berfotosintesis sehingga meningkatkan oksigen terlarut
- Konsumen : hasil rombakan organisme dimanfaatkan oleh mikroalga, bakteri, jamur
- Penyebab penyakit : *Salmonella* (tipus / paratipus), *Shigella* (disentri basiler), *Vibrio* (kolera), *Entamoeba* (disentri amoeba)
- Penghasil toksin : bakteri anaerobik (*Clostridium*), bakteri aerobik (*Pseudomonas*, *Salmonella*, *Staphylococcus*, dan lain-lain), mikroalgae (*Anabaena*, *Microcystis*)<sup>p</sup>

Mikroba air yang merugikan dapat menyebabkan :

- Blooming menyebabkan perairan berwarna, ada endapan, dan bau amis, disebabkan oleh meningkatnya pertumbuhan mikroalga (*Anabaena flos-aquae* dan *Microcystis aeruginosa*)
- Bakteri besi :  $Fe^{2+}$  (oksidasi oleh bakteri *Crenothrixphaerotilus*) menjadi  $Fe^{3+}$
- Bakteri belerang :  $SO_4^{2-}$  (reduksi oleh bakteri *Thiobacillus chromatium*) menghasilkan  $H_2S$  (bau busuk)

Kualitas air harus memenuhi 3 persyaratan, yaitu kualitas fisik, kimia, dan biologis. Kualitas fisik berdasarkan pada kekeruhan, temperatur, warna, bau, dan rasa. Kualitas kimia adanya senyawa-senyawa kimia yang beracun, perubahan rupa, warna, dan rasa air, serta reaksi-reaksi yang tidak diharapkan menyebabkan diadakannya standar kualitas air minum. Standar kualitas air memberikan batas konsentrasi maksimum yang dianjurkan dan yang diperkenankan bagi berbagai parameter kimia, karena pada konsentrasi yang berlebihan kehadiran unsur-unsur tersebut dalam air akan memberikan pengaruh negatif, baik bagi kesehatan maupun dari segi pemakaian lainnya. Kualitas biologis didasarkan pada kehadiran kelompok-kelompok mikroba tertentu seperti mikroba patogen (penyakit perut), pencemar (terutama Coli), penghasil toksin dsb.

Indikator kehadiran bakteri coliform merupakan polusi kotoran akibat kondisi sanitasi yang buruk terhadap air dan makanan.. Bakteri coliform ada 2 jenis :

1. Fekal : berasal dari tinja manusia dan mamalia (misal : *Escherichia coli*)
2. Nonfekal : berasal dari sumber lain (misal : *Enterobacter aerogenes*, *Klebsiella*)

Untuk melihat kualitas air dengan indikator coliform, maka perlu dilakukan uji kualitatif dan kuantitatif bakteri coliform.melalui 3 tahapan yaitu uji Penduga (presumptive test), uji Penetapan (Confirmed Test), uji Pelengkap (Completed test). Penghitungan bakteri coliform juga dapat menggunakan metode Millipore Membrane Filter menggunakan filter membran steril pori yang berdiameter 0,22 – 0,45  $\mu m$  dengan diameter membran : 5 cm.

Penentuan coliform fekal atau non fekal dapat dilakukan dengan menumbuhkan isolate pada medium uji IMVIC (Tabel 3 & 4) atau suhu inkubasi optimum yang berbeda 42°C untuk Coliform fekal dan 37°C untuk Coliform nonfekal

**Tabel 3 Uji IMVIC**

No.	Uji	Medium	Produk Akhir	Reaksi Positif
1.	Indol	Tryptone Broth / Indol-nitrite	Indol	Merah setelah penambahan pereaksi KOVACS
2.	Methyl Red	Proteose Broth / 1% Glucose Peptone Broth	Asam Organik	Merah setelah penambahan indikator Methyl Red
3.	Voges-Proskauer	Proteose Broth / 1 % Glucose Peptone Broth	Asetil Metil Karbinol	Merah tua setelah penambahan 5 % $\alpha$ -naftol & 40 % KOH
4.	Sitrat	Koser Sitrat Medium	Pertumbuhan	Timbul kekeruhan

**Tabel 4 Hasil Uji IMVIC pada Coliform**

Coliform	Indol	Methyl Red	Voges-Proskauer	Sitrat	Klasifikasi
E. coli Var. I	+	+	-	-	Fekal
Var. II	-	+	-	-	Fekal
E. Aerogenes Var. I	-	-	+	±	Nonfekal
Var. II	±	-	+	+	Nonfekal

**Tabel 5 Kualitas Air Berdasarkan Jumlah Coliform**

Kualitas Air	Bakteri Coliform / 100 ml Air
Sangat Memuaskan	Tidak Ada
Memuaskan	1 – 2
Diragukan	3 – 10
Jelek	> 10

Kualitas perairan juga dapat ditentukan berdasarkan nilai IPB. Penentuan Nilai IPB (Indeks Pencemar Biologis) atau Biological Indices of Pollution (BIP) suatu perairan, pada umumnya dilakukan kalau air dari suatu sumber perairan akan digunakan sebagai bahan baku untuk kepentingan pabrik/industri (sebagai air proses, air pendingin), untuk kepentingan rekreasi (berenang). Makin tinggi nilai IPB maka makin tinggi kemungkinan deteriosasi/korosi materi di dalam sistem pabrik (logam-logam yang mengandung Fe dan S), atau pun terhadap kemungkinan adanya kontaminasi badan air oleh organisme patogen. Nilai IPB ditentukan dengan menggunakan rumus :

$$\text{Nilai IPB} = (B/(A+B)) \times 100$$

A : Kandungan mikroba berklorofil

B : Kandungan mikroba tanpa klorofil

Hasil tersebut akan memberikan besaran yang menyatakan nilai IPB. Perhitungan nilai dilakukan secara langsung (tanpa pembiakan) yaitu : Sampel air sebanyak 500-1000 ml, selanjutnya dipekatkan sampai menjadi 50 ml baik melalui penyaringan ataupun sentrifugasi (rata-rata 1500 rpm). Endapan yang terbentuk selanjutnya dianalisis untuk kehadiran mikroorganisme dengan menggunakan kolom hitung untuk mikroalga, dan pewarnaan untuk bakteri dan fungi. Kandungan kedua kelompok mikroorganisme tersebut dapat dijadikan dasar untuk perhitungan nilai IPB (Tabel 6).

**Tabel 6 Nilai Indeks Pencemar Biologis**

Nilai IPB	Kualitas Air
0 – 8	Bersih, Jernih
9 – 20	Tercemar ringan
21 – 60	Tercemar sedang
60 - 100	Tercemar berat

### **Pengolahan Limbah Sekunder/Secara Biologik**

Pengolahan sekunder melibatkan oksidasi senyawa organik berbentuk koloid dan terlarut dengan adanya mikroorganisme dan organisme dekomposer lain. Keadaan berangin biasanya dibutuhkan oleh '*trickling filters*' atau '*activated sludge tanks*' (lumpur aktif), sedangkan dalam iklim yang hangat dapat digunakan '*oxidation ponds*' (kolam oksidasi). Lumpur sekunder yang dihasilkan dari pengolahan secara biologik dicampurkan dengan lumpur primer dalam tangki '*sludge digestion*', dimana terjadi penguraian secara anaerobik oleh mikroorganisme.

***Trickling (percolating) filters.*** Gambar 3-2. Memperlihatkan suatu irisan melintang bentuk trickling filter. Trickling filters merupakan tangki berbentuk lingkaran atau empat-persegi panjang, setinggi 1-3 m dan diisi dengan susunan alas (*filter bed*) mineral atau plastik. Mineral dapat berupa pecahan batu, genting, arang, dan 'slag' (terak, ampas bijih), tetapi harus berukuran serupa, jadi akan menempati bagian yang sama. Rentang ukuran biasanya antara 3,5-5,0 cm, dengan bagian permukaan khusus bervolume 80-110 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup> dan ukuran jarak 45-55 % dari volume keseluruhan. Dilengkapi dengan batang pemutar (bagian tengah) atau pipa yang dapat digerakan maju-mundur, pada tangki persegi. Bagian atas terdapat lubang untuk masukan limbah, dan bagian bawah arah berhadapan disediakan kran untuk mengeluarkan efluen/cairan. Bakteri yang terdapat dalam jumlah paling besar dan bentuk dasar dari jaring makanan. Tercatat banyak bakteri yang terlibat, tetapi yang dominan adalah batang gram-negatif aerobik *Zooglea*, *Pseudomonas*, *Achromobacter*, *Alcaligenes*, dan *Flavobacterium*.

Fungi secara normal berjumlah 8:1 dengan bakteri, dan terdapat pada bagian atas filter dan jumlahnya berlimpah sekitar kedalaman 15 cm. Genera yang sering mendominasi adalah *Sepedonium*, *Subbaromyces*, *Ascoidea*, *Fusarium*, *Geotrichium*, dan *Trichosporon*. Bakteri dan fungi heterotrofik tersebut melaksanakan oksidasi primer efluen. Bakteri autotrofik cenderung lebih banyak pada lapisan bawah filter, *Nitrosomonas* mengoksidasi amonium menjadi nitrit, dan *Nitrobacter* mengoksidasi nitrit menjadi nitrat.

Alge sering ditemukan dalam *percolating filter* (misalnya, *Chlorella*, *Oscillatoria*, *Ulothrix*), tetapi peranannya kecil dalam proses pemurnian.

Protozoa terdapat sebanyak fungi dan dapat diidentifikasi sekitar 218 spesies, 116 diantaranya ciliata (ciliata yang banyak ditemukan : *Carchesium*, *Chilodonella*, dan *Colpoda*). Peran utama protozoa adalah untuk membuang bakteri, sehingga efluen dapat dibersihkan.

**Proses Activated sludge.** Dalam tangki *activated sludge* (lumpur aktif), limbah endapan dicampurkan dengan suspensi mikroorganisme dan diberi udara selama 1-30 jam, bergantung pada tujuan pengolahan. Medium diperkaya dengan larutan dan suspensi nutrisi, ditambah oksigen dan diaduk dengan cepat. Bahan yang tersuspensi dan koloid mengadsorpsi gumpalan mikroba. Selanjutnya mikroba memecahkan gumpalan dan melarutkan nutrisi, proses ini dikenal sebagai stabilisasi. Lumpur, yang meningkat sebanyak 5-10% selama proses, dipindah dari cairan dalam tangki pengendapan, dan dikembalikan lagi ke tangki aerasi.

Lumpur aktif digambarkan sebagai lingkungan akuatik yang sebenarnya. Kondisi turbulen dalam tangki tidak layak untuk makroinvertebrata, sehingga komunitas tanpa mata-rantai yang lebih besar dalam jaring makanan. Sejumlah massa mikroba dalam sistem ini dikendalikan oleh pengambilan kelebihan lumpur, sedangkan lapisan berlebihan pada filter dibuang dengan perantara proses biologik. Dalam tangki lumpur aktif, komunitas mikroba awalnya dihubungkan dengan limbah yang tidak diolah, selanjutnya, memurnikan efluen, sedangkan pada *filter bed* suatu suksesi komunitas timbul pada kedalaman yang berbeda dan dihubungkan dengan perbedaan derajat pemurnian efluen.

**Oxidation ponds..** *Oxidation ponds* atau kolam oksidasi (stabilisasi) digunakan dalam iklim hangat untuk memurnikan limbah dan prosesnya melibatkan interaksi antara bakteri dan alge. (Gambar 10-16.) Kolam merupakan danau di pinggir laut yang dangkal, dengan kedalaman 1m. Endapan lumpur dialirkan melalui kolam selama 2-3 minggu, tetapi lumpur kasar dapat disimpan lebih dari 6 bulan. Bakteri dalam kolam menghancurkan bahan organik yang biodegradable untuk melepaskan CO<sub>2</sub>, amonia, dan nitrat. Produk ini digunakan oleh alge, bersama-sama dengan sinar matahari, dan proses fotosintetik melepaskan oksigen, memungkinkan bakteri menguraikan limbah lebih banyak. Suatu lapisan endapan lumpur organik pada dasar kolam dan dekomposisi anaerobik menyebabkan pelepasan metan.

## **BIOREMEDIASI**

Sejumlah senyawa kimia berbahaya (kontaminan/pencemar) dan kelompok bahan-buangan sudah diperbaiki melalui bioremediasi. Bioremediasi merupakan proses perbaikan bahan buangan atau limbah dengan melibatkan mikroorganisme. Terdapatnya senyawa berbahaya dalam lingkungan karena, kondisi lingkungan tersebut tidak memungkinkan aktivitas mikroba untuk melakukan degradasi secara biokimia. Optimalisasi kondisi lingkungan tersebut melalui pemahaman prinsip biologik mengenai senyawa yang akan diurai, dan pengaruh kondisi lingkungan terhadap kemampuan mikroorganisme dan reaksi katalisisnya.

Teknik pertama yang digunakan adalah mengevaluasi, menentukan batas kondisi lingkungan pada daerah yang tercemar bahan tertentu. Rancangan akhir harus menyediakan kontrol untuk memanipulasi keadaan lingkungan tersebut dalam rangka meningkatkan biodegradasi senyawa target. Senyawa target merupakan senyawa kimia berbahaya yang akan diremediasi melalui bioremediasi.

Bioremediasi merupakan aplikasi prinsip proses biologik/biogeradasi, untuk menangani air tanah, tanah, dan lumpur yang tercemar oleh senyawa kimia berbahaya. Terdapat sedikit perbedaan antara rancangan prinsip proses biologik/biodegradasi air limbah dengan bioremediasi senyawa kimia berbahaya. Proses biologik merupakan proses katalisis senyawa kimia oleh mikroorganisme yang terjadi secara alami. Pada bioremediasi menggunakan teknik kimia dan teknik lingkungan. Bioremediasi lebih rumit karena menggunakan katalis (enzim) yang disuplai oleh mikroorganisme yang mengkatalisis penghancuran senyawa berbahaya spesifik (senyawa target). Senyawa kimia berbahaya dapat berupa substrat atau bukan substrat bagi mikroorganisme. Reaksi katalisis senyawa kimia ini dilaksanakan dalam unit modular ("sel") atau di luar sel. Prinsip reaksinya adalah reaksi reduksi-oksidasi, yang penting untuk pembentukan energi bagi organisme.

### **Pertanyaan**

1. Jelaskan peranan mikroorganisme dalam lingkungan !
2. Jelaskan aspek mikrobiologis lingkungan terrestrial dan akuatik!
3. Jelaskan pengolahan limbah secara mikrobiologi !

### **Daftar Pustaka**

- Black, Jacquelyn G. 2002. *Microbiology*. John Wiley & Sons, Inc.
- Brock. TD. Madiqan. MT. 1991. *Biology of Microorganisms*. Sixth ed. Prentice-HallInternational, Inc.
- Cappuccino, JG. & Sherman, N. 1987. *Microbiology: A Laboratory Manual*. The Benjamin/Cummings Publishing Company, Inc. California.
- Case, C.L. & Johnson, T.R. 1984. *Laboratory Experiments in Microbiology*. Benjamin/Cummings Publishing Company, Inc. California.
- Fardiaz, S. 1987. *Fisiologi Fermentasi*, PAU IPB.
- Kusnadi, dkk. 2003. *Mikrobiologi (Common Teksbook)*. Biologi FPMIPA UPI, IMSTEP.
- Moat, A.G. & Foster, J.W. 1979. *Microbial Physiology*. John Wiley & Sons
- Nicklin. J.K. Graeme-Cook. T. Paget & R. Killington. 1999. *Instans Notes in Microbiology*. Springer Verlag. Singapore Pte, Ltd.
- Tortora Gerard J. et al. 1992. *Microbiology an Introduction*. Fourth Ed. The Benjamin Cummings Publishing Company, Inc.