

I. HAKEKAT MIKROBIOLOGI

Mikrobiologi adalah sebuah cabang dari ilmu biologi yang mempelajari mikroorganisme (organisme hidup yang ukurannya terlalu kecil untuk dapat dilihat dengan mata biasa) atau mikroba. Oleh karena itu obyek kajiannya biasanya adalah semua makhluk (hidup) yang perlu dilihat dengan mikroskop, khususnya bakteri, fungi, alga mikroskopik, protozoa, Archaea dan Virus. Virus dimasukkan dimasukkan dalam obyek kajian walaupun sebenarnya ia tidak sepenuhnya dapat dianggap sebagai makhluk hidup. Mikrobiologi dimulai sejak ditemukannya mikroskop dan menjadi bidang yang sangat penting dalam biologi setelah Louis Pasteur dapat menjelaskan proses fermentasi anggur (*wine*) dan membuat serum rabies. Perkembangan biologi yang pesat pada abad ke-19 terutama dialami pada bidang ini dan memberikan landasan bagi terbukanya bidang penting lain seperti biokimia. Penerapan mikrobiologi pada masa kini masuk berbagai bidang dan tidak dapat dipisahkan dari cabang lain. Mikrobiologi diperlukan dalam bidang farmasi, kedokteran, higiene, pertanian, ilmu gizi, teknik kimia, bahkan hingga astrobiologi dan arkeologi.

A. Mikroorganisme

Mikroorganisme atau **mikroba** adalah organisme yang berukuran sangat kecil (biasanya kurang dari 1 mm atau dalam ukuran μm) sehingga untuk mengamatinya diperlukan alat pembesar. Mikroorganisme seringkali bersel tunggal (uniselular) meskipun beberapa protista bersel tunggal masih terlihat oleh mata telanjang dan ada beberapa spesies multisel tidak terlihat mata telanjang. Ilmu yang mempelajari mikroorganisme disebut mikrobiologi. Orang yang bekerja di bidang ini disebut mikrobiolog. Mikroorganisme biasanya dianggap mencakup semua prokariota, protista dan alga renik. Fungi, terutama yang berukuran kecil dan tidak membentuk hifa, dapat pula dianggap sebagai bagiannya meskipun banyak yang tidak menyepakatnya. Kebanyakan orang beranggapan bahwa yang dapat dianggap mikroorganisme adalah semua organisme sangat kecil yang dapat dibiakkan dalam cawan petri atau inkubator di dalam laboratorium dan mampu memperbanyak diri secara mitosis.

Mikroorganisme dapat ditemukan dimanapun di dunia ini, karena banyak mikroorganisme dibawa oleh angin, dibawa oleh aliran udara dari permukaan bumi ke atmosfer atau terbawa oleh agen pembawa lainnya, seperti hewan, manusia, dan tumbuhan. Mikroorganisme banyak ditemukan di tempat-tempat yang tersedia makanan, kelembaban dan suhu yang sesuai untuk pertumbuhan dan reproduksi mikroorganisme. Pada diri manusia, mikroorganisme terdapat mulai dari permukaan kulit kita sampai ke dalam usus. Pada dunia pertanian, mikroorganisme terdapat mulai dari tanah sebagai media tanam sampai komoditi yang dihasilkan dan dalam proses-proses pengolahannya. *Rhizobium japonicum* merupakan bakteri tanah penambat nitrogen, hidup bersimbiose dengan akar kedelai. *Pseudomonas solanacearum* merupakan bakteri tanah penyebab penyakit layu pada banyak tanaman Solanaceae. *Colletotrichum gloeosporoides* merupakan jamur penyebab penyakit antraknose pada banyak tanaman. *Saccharomyces cerevisiae* merupakan jamur satu sel yang berperan dalam banyak proses fermentasi dalam industri

pertanian. TMV (*tobacco mosaic virus*) merupakan virus tanaman tembakau penyebab penyakit mosaik.

Informasi yang diperoleh dari mikrobiologi memungkinkan kemajuan besar dalam kemampuan kita untuk mempelajari banyak hal. Mikroorganisme telah digunakan untuk mempelajari berbagai proses biokimia yang diketahui terjadi pada bentuk kehidupan yang lebih tinggi. Banyak fakta tentang metabolisme tanaman dan ternak yang diketahui sekarang, mula-mula diketahui terjadi pada mikroorganisme. Pokok-pokok masalah biologi dapat dipelajari melalui mikrobiologi karena mikroorganisme mempunyai banyak sifat-sifat yang dipakai sebagai pola atau model untuk menyelidiki fenomena biologi. Mikroorganisme mempunyai sistem khusus yang cocok untuk penyelidikan yang bersifat fisiologik, genetik, dan reaksi-reaksi biokimia sampai bioteknologi yang kesemuanya merupakan dasar-dasar kehidupan. Penelitian tentang kehidupan tersebut, umumnya banyak dilakukan menggunakan mikroorganisme, karena mempunyai keuntungan-keuntungan sebagai berikut :

1. Mikroorganisme hanya memerlukan ruang dan pemeliharaan yang lebih sederhana dibandingkan dengan tanaman dan hewan. Hal ini disebabkan karena mikroorganisme dapat tumbuh di tabung-tabung reaksi yang berisi medium kultur.
2. Mikroorganisme tumbuh jauh lebih cepat dibanding tanaman dan hewan. Mikroorganisme ada yang dapat berkembang biak menjadi 100 generasi dalam waktu 24 jam.
3. Pada dasarnya proses metabolisme mikroorganisme tidak berbeda dengan metabolisme yang terjadi pada tanaman dan hewan.

Tumbuhan mempunyai ciri khas yaitu menggunakan tenaga berasal dari cahaya, sedangkan pada hewan menggunakan tenaga yang berasal dari bahan-bahan kimia organik. Dalam keadaan tersebut, sebagian mikroorganisme ada yang mirip dengan hewan dan sebagian lain ada yang mirip tumbuhan, tetapi ada juga yang bersifat unik yaitu : menggunakan kedua-duanya, energi cahaya dan energi kimia. Oleh karena itu mikrobiologi bukan hanya mempelajari mikroorganisme sebagai penyebab penyakit (kuman) yang menggunakan tenaga dari bahan organik, tetapi juga mempelajari semua aktivitas kehidupan mikroorganisme pada umumnya. Melalui mikrobiologi kita dapat mempelajari organisme secara terperinci mengenai proses hidup, seperti mengadakan kegiatan metabolisme, tumbuh, berkembangbiak, menjadi tua sampai mati. Dengan mengendalikan faktor-faktor lingkungan, kita dapat mengubah kegiatan metabolisme dan mengatur pertumbuhan tanpa merusak organisme itu sendiri.

B. Penerapan Praktis Mikrobiologi

Pengetahuan tentang mikrobiologi praktis sangat penting dalam bidang pertanian, karena tanaman tidak akan lepas dari gangguan banyak jenis mikroorganisme yang merugikan sekaligus juga dari mikroorganisme yang menguntungkan tanaman. Kita harus mampu mengendalikan kedua kelompok mikroorganisme tersebut, mikroorganisme yang merugikan kita minimalkan dan yang menguntungkan kita optimalkan. Di bidang pertanian, mikroorganisme tidak hanya berperan pada

tanaman di lahan saja tetapi juga setelah dipanen, pengolahan hasil sampai ke tingkat konsumen.

Kita mampu mengendalikan mikroorganisme bukanlah kita peroleh secara alamiah, tetapi harus dengan mempelajari pengetahuannya dan berlatih. Bagi kebanyakan kita berpendapat bahwa “*apa yang tidak terlihat mata adalah sesuatu yang sulit dan yang tidak terlihat berarti tidak ada*”. Seandainya terjadi suatu keajaiban dan mikroorganisme dapat dilihat mata, maka kita akan ketakutan karena ternyata mikroorganisme terdapat dimana-mana dan siap merusak atau membantu kita, tanaman, hewan, maupun lingkungan. Beberapa contoh segi penerapan mikrobiologi, misalnya :

1. Bidang Pertanian : pada penyakit tumbuhan, pengendalian hama dan penyakit tumbuhan, industri pertanian, mikrobiologi tanah, mikrobiologi makanan.
2. Bidang Industri : pada pembuatan alkohol, anggur (wine), antibiotik, vitamin, protein sel tunggal, sirup glukosa, asam asetat, asam sitrat, ensim, keju, nata de coco, tempe, tape, margarin, kecap, yogurt.
3. Bidang Kedokteran : pada etiologi penyakit, diagnose penyakit, epidemiologi penyakit.
4. Bidang Ekologi : pada pengawasan kualitas air, pengawasan limbah, proses perlakuan limbah, pencarian mikroorganisme di ruang angkasa (exobiologi)
5. Bidang Persenjataan : pada pembuatan senjata biologi.

C. Posisi Mikroorganisme dalam Dunia Kehidupan

Pada jaman dulu, sebelum tahun 1.800, hanya diketahui bahwa jasad hidup di alam dibedakan menjadi dua golongan besar, yaitu : golongan hewan (*Animalia*) dan golongan tumbuhan (*Plantae*). Perbedaan-perbedaan antara keduanya dapat tegas jika yang dibedakan tumbuhan tingkat tinggi dengan hewan tingkat tinggi, tetapi jika yang dibandingkan adalah tumbuhan tingkat rendah dengan hewan tingkat rendah atau yang terdiri dari satu sel, maka sulit bagi kita untuk mengatakan bahwa yang kita amati adalah hewan atau tumbuhan.

Penggolongan di atas berlangsung sampai sekitar tahun 1.700-an yang pada waktu itu sudah mulai diadakan penelitian-penelitian yang intensif tentang makhluk hidup (organisme) terutama mikroorganisme. Setelah sifat-sifat berbagai mikroorganisme diketahui, terasalah suatu kepincangan menggunakan penggolongan di atas, karena beberapa mikroorganisme tidak dapat digolongkan ke dalam golongan hewan dan tidak dapat digolongkan ke dalam golongan tumbuhan. Beberapa mikroorganisme memiliki sifat-sifat yang dimiliki *Plantae* dan juga memiliki sifat-sifat yang dimiliki *Animalia*.

Pada tahun 1866 Haeckel, seorang biolog Jerman, mengusulkan adanya golongan makhluk hidup ke tiga di luar *Plantae* dan *Animalia*, yaitu : *Protista*, untuk menampung kelompok organisme yang sulit digolongkan secara tegas ke dalam *Plantae* maupun *Animalia*. Perbedaan antara *Plantae*, *Animalia*, dan *Protista* menurut

Haeckel terletak pada organisasi selnya. Golongan Plantae dan Animalia dengan tegas organisasi selnya terdeferensiasi menjadi jaringan, sedangkan golongan Protista mempunyai organisasi sel yang sederhana, kebanyakan bersifat unisel (uniceluler) atau senositik (coenocytic) atau jika multisel belum terjadi deferensiasi sel menjadi jaringan. Kelompok Protista menurut Haeckel ini sekarang disebut mikroorganisme.

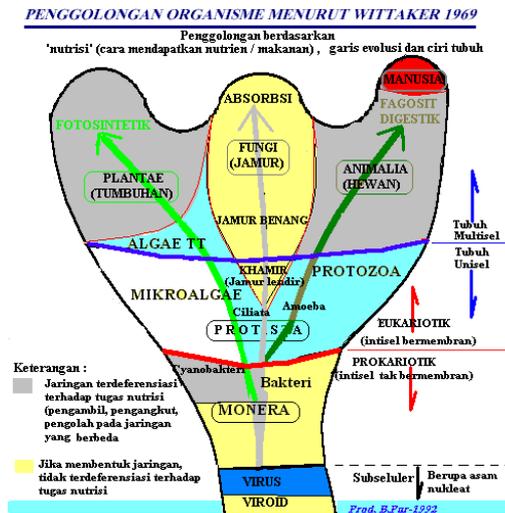
<u>Linnaeus</u> (1735) 2 kingdoms	<u>Haeckel</u> (1866) 3 kingdoms	<u>Chatton</u> (1925) 2 groups	<u>Copeland</u> (1938) 4 kingdoms	<u>Whittaker</u> (1969) 5 kingdoms	<u>Woese</u> (1977,1990) 3 domains
<u>Animalia</u>	<u>Animalia</u>		<u>Animalia</u>	<u>Animalia</u>	
			<u>Plantae</u>	<u>Plantae</u>	
<u>Vegetabilia</u>	<u>Plantae</u>	<u>Eukaryote</u>		<u>Fungi</u>	<u>Eukaryota</u>
			<u>Protoctista</u>	<u>Protista</u>	
	<u>Protista</u>				
		<u>Procarvote</u>		<u>Monera</u>	<u>Archaea</u>
					<u>Bacteria</u>

Dengan diketemukannya teknik baru dalam mikroskopi elektron, susunan dalam sel hidup dapat lebih diketahui. Jika kita akan membandingkan kegiatan biokimia sel yang berasal dari berbagai sumber, misalnya sel bakteri, sel daun tanaman, dan sel daging hewan, maka akan dijumpai kesamaan-kesamaan tertentu. Semua sel tersebut ternyata mempunyai ciri-ciri yang dapat diwariskan yang dikode dalam asam dioksi-ribo nukleat (dioxy-ribo-nucleic acid = DNA). Semua sel (bakteri, tanaman, hewan) akan menggunakan satu mekanisme untuk pembentukan dan penyimpanan energi. Kesemuanya mempunyai metode sintesis protein, sintesis asam nukleat dan sintesis polisakarida yang pada pokoknya identik (mirip). Kesatuan proses biokimia pada seluruh kehidupan menunjukkan perbedaan yang kecil pada proses utamanya, tetapi jika kita amati sel-selnya secara morfologis, kita akan menemukan perbedaan-perbedaan besar. Hasil dari berbagai penelitian menyimpulkan bahwa tipe sel makhluk hidup dibedakan menjadi dua tipe sel, yaitu : tipe sel *eukariotik* dan tipe sel *prokariotik*. (lihat sub-bab organisasi sel)

Penggolongan organisme seperti yang diusulkan Haeckel berlaku sekitar satu setengah abad, kemudian Whittaker (1969) menggolongkan organisme menjadi lima dunia (*kingdom*). Penggolongan Whittaker menambahkan penggolongan berdasarkan organisasi sel dan bagaimana sel mendapatkan nutrisi, terutama sumber karbon, yaitu : fotosintesis, absorpsi (serab), dan ingesti (cerna). Pada penggolongan Whittaker ini, Protista pada Haeckel dibedakan menjadi tiga kingdom, yaitu : *Fungi*, *Protista*, dan *Monera*, sehingga keseluruhan organisme dibedakan menjadi lima kingdom, yaitu : *Animalia*, *Plantae*, *Fungi*, *Protista*, dan *Monera*.

Animalia beranggotakan organisme multi sel, tipe selnya eukariotik, dan cara mendapatkan sumber karbon dengan cara ingesti. *Animalia* meliputi semua binatang multi sel. *Plantae* beranggotakan organisme multi sel, tipe selnya eukariotik, dan

mendapatkan sumber karbon dengan cara fotosintesis. Plantae meliputi tumbuhan dan algae tingkat tinggi.



Fungi atau jamur berang-gotakan organisme unisel maupun multi sel tetapi belum terdiferensiasi menjadi jaringan, tipe selnya eukariotik, dan mendapatkan sumber karbon dengan cara absorpsi. Fungi meliputi : jamur benang dan jamur satu sel (khanir, yeast). *Protista* beranggotakan organisme unisel, tipe selnya eukariotik, dan mendapatkan sumber karbon dengan lebih dari satu cara, yaitu : absorpsi dan fotosintesis, meliputi : *mikroalgae* atau absorpsi dan ingesti, meliputi : *protozoa*.

Monera berang-gotakan organisme unisel, tipe selnya prokariotik, dan mendapatkan sumber karbon dengan cara absorpsi. Monera meliputi : bakteri dan algae biru (Cyanophyceae). Dengan demikian menurut Whittaker, yang termasuk mikroorganisme meliputi : fungi, protista, dan monera, atau lebih rinci lagi meliputi : jamur benang, khamir atau yeast, mikro algae, protozoa, algae biru, dan bakteri. Untuk periode sekarang, yang termasuk mikro-organisme juga 'organisme-organisme baru' yang ukurannya lebih kecil dari pada bakteri, misalnya : mikoplasma, virus, dan viroid.

Untuk mengenal mikro diperlukan karakterisasi guna keperluan identifikasi. Karakterisasi merupakan usaha mengenal karakter atau ciri-ciri atau sifat mikroorganisme. Melakukan karakterisasi pada organisme merupakan tujuan penting dalam semua cabang pengetahuan biologi. Dengan demikian melakukan karakterisasi pada mikroorganisme juga merupakan tujuan penting dalam mikrobiologi. Suatu organisme yang telah dapat dikarakterisasi, maka akan memungkinkan untuk dibandingkan dengan organisme lainnya, guna menentukan persamaan dan perbedaannya. Suatu kelompok mikroorganisme yang mempunyai karakter yang sama, dikelompokkan dalam suatu takson tertentu dan diberi nama khusus yang memuat informasi untuk keperluan identifikasi dan klasifikasi. Misalnya jamur benang yang benang atau hifanya tidak bersekat dikelompokkan ke dalam Phycomyces, bakteri-bakteri yang dinding selnya mengikat kuat pewarna dikelompokkan dalam kelompok bakteri gram positif, demikian sebaliknya bakteri-bakteri yang dinding selnya tidak mengikat kuat pewarna atau pewarnaanya dapat luntur dikelompokkan dalam kelompok bakteri gram negatif.

Untuk mengembangkan skema klasifikasi yang memadai, harus dimengerti sepenuhnya tentang karakter-karakter mikroorganisme. Karakter-karakter atau sifat dari mikroorganisme yang penting untuk keperluan identifikasi antara lain yakni :

1. Sifat morfologi, misalnya : bentuk sel, ukuran sel, dan struktur sel.

2. Sifat kimia, misalnya : komposisi atau susunan kimia sel, macam-macam kandungan kimia sel.
3. Sifat pertumbuhan, misalnya : keperluan nutrien, keperluan lingkungan fisik.
4. Sifat metabolik, misalnya : cara mendapatkan energi, cara menggunakan energi, pengaturan energi.
5. Sifat antigenik, misalnya : komponen khusus dari sel yang dapat merusak organisme lain
6. Sifat genetik, misalnya : sifat bahan genetik, komposisi DNA
7. Sifat patogenik, misalnya : kemampuannya dalam menimbulkan penyakit pada organisme lain
8. Sifat biologi, misalnya : habitat organisme, distribusi organisme, interaksinya dengan sesamanya maupun dengan organisme lain

Klasifikasi dan taksonomi mikroorganisme mempunyai sejarah yang panjang. Pada tahun 1750-an Carl Linn (latin : *Carolus linneous*) seorang naturalis Swedia membagi organisme menjadi kelompok-kelompok tertentu yang lebih kecil. Satu ciri yang amat penting pada skema taksonomi Linneous yang masih digunakan sampai sekarang, yaitu : nomenklatur sistem dua bagian (*binary nomenclature*) atau nomenklatur sistem binomial, contoh : *Pseudomonas solanacearum*, *Phytophthora parasitica*. Cara penulisan sistem binomial dengan menggunakan huruf miring seperti contoh atau menggunakan huruf tegak yang digaris terpisah, pada contoh jadi : Pseudomonas solanacearum, Phytophthora parasitica. Huruf pertama dari nama takson genus ke atas ditulis menggunakan huruf kapital. Klasifikasi semacam ini, hanya didasarkan sifat-sifat morfologi. Klasifikasi ini tidak menemui kesulitan jika diterapkan pada tumbuhan dan binatang, tetapi jika diterapkan pada mikroorganisme akan sangat membingungkan. Oleh karena itu, klasifikasi dalam mikroorganisme didasarkan kepada sifat-sifat lain disamping morfologinya.

Sebagai contoh, banyak bakteri yang kalau diamati dengan menggunakan mikroskop menunjukkan bentuk morfologi yang sama persis, akan tetapi sifat-sifat fisiologinya dapat sangat berbeda, sehingga klasifikasi bakteri ini yang didasarkan kepada sifat morfologinya saja tidak akan dapat menempatkan bakteri ke dalam takson tertentu. Banyak sekali bakteri yang bentuknya sama, akan tetapi golongan yang satu dapat memanfaatkan asam amino tertentu, sedangkan golongan yang lain tidak dapat memanfaatkan asam amino tersebut. Oleh karena itu, jelaslah bahwa untuk menetapkan takson bakteri tertentu yang hanya didasarkan kepada sifat-sifat morfologinya akan mengalami kesulitan dan tidak akan secara tegas menempatkannya dalam suatu takson tertentu.

Taksonomi mikroorganisme merupakan suatu bidang ilmu pengetahuan yang dinamis, karena mikroorganisme-mikroorganisme “baru” terus-menerus ditemukan dan tersedia pengetahuan baru mengenai mikroorganisme yang telah diklasifikasikan. Informasi baru yang paling dapat diharapkan berasal dari analisis DNA sel mikroorganisme. Informasi DNA ini sangat penting dan sangat berharga untuk menentukan kelompok-kelompok takson. Di samping itu, taksonomi dengan menggunakan komputer sekarang semakin meningkatkan obyektivitas yang lebih besar dalam penempatan dan pemantapan kelompok dalam taksonomi.

Sistem klasifikasi mikrobiologi didasarkan pada hirarkhi taksonomi atau penataan kelompok atau kategori yang menempatkan takson spesies pada suatu ujung dan kingdom di ujung lainnya. Taksonomi yang lengkap merupakan klasifikasi yang terdiri atas taksa kingdom sampai varietas. Takson kingdom pada garis besarnya terdiri atas divisio-divisio, takson divisio terdiri atas kelas-kelas, takson kelas terdiri atas ordo-ordo, takson ordo terdiri atas famili-famili, takson famili terdiri atas genera, takson genus terdiri atas spesies-spesies, dan takson spesies terdiri atas varietas atau formaspesialis (bentuk khusus). Secara ringkas, taksa yang dimaksud adalah sebagai berikut :

Kingdom : terdiri atas seluruh mikroorganisme di dalam hirarkhi ini
Divisio : sekelompok kelas yang berkerabat
Kelas : sekelompok ordo yang serupa
Ordo : sekelompok famili yang serupa
Famili : sekelompok genus yang serupa
Genus : sekelompok spesies yang serupa
Spesies : sekelompok mikroorganisme berkerabat dekat yang individu-individunya di dalam kelompok ini serupa pada sebagian terbesar ciri-cirinya

Sebagai contoh, klasifikasi bakteri bintil akar kedelai, yaitu sebagai berikut :

Kingdom : *Bacteria*
Divisio : *Protophyta (Scizophyta)*
Kelas : *Schizomycetes*
Ordo : *Eubacteriales*
Famili : *Rhizobacteriaceae*
Genus : *Rhizobium*
Spesies : *Rhizobium japonicum*

D. SEJARAH MIKROBIOLOGI

Keberadaan mikroorganisme baru diketahui dengan nyata setelah ditemukannya lensa sebagai alat pembesar. Mikroorganisme yang tidak dapat dilihat oleh mata biasa karena ukurannya yang sangat kecil, pada tahun 1683 menjadi dapat terlihat karena penemuan lensa oleh Antonie van Leeuwenhoek (1632 – 1723). Leewenhoek adalah seorang pedagang kain yang mempunyai kegemaran mengasah batu lensa. Dengan menggunakan lensanya, secara kebetulan dia menemukan organisme-organisme kecil dari dalam air hujan, air laut, dari sela-sela gigi dan lain-lain. Lensa-lensa yang dibuat Leewenhoek pada waktu itu mampu melihat benda kecil dengan pembesaran sampai 400 x. Oleh karena itu, hasil-hasil pengamatannya pada organisme-organisme kecil tersebut menjadi sangat menakjubkan untuk ukuran pada jaman itu, bahkan sampai sekarang jika didasarkan kepada sederhananya alat yang digunakan.

Penemuan Leeuwenhoek tersebut merupakan awal penting dalam dunia mikrobiologi, tetapi ilmuan-ilmuan pada masanya itu mengakuinya bahwa adanya organisme kecil tersebut terbentuk dari air. Hal tersebut disebabkan karena pada jaman itu teori generatio spontanae atau abiogenesis sudah diakui masyarakat sejak awal. Teori generatio spontanae menganggap bahwa organisme berasal dari benda-

benda mati atau terjadi secara spontan, sehingga mikroorganisme yang ditemukan dari dalam air oleh Leewenhoek dianggap terbentuk dari air. Dengan demikian bahwa penemuan organisme kecil oleh Leewenhoek tersebut baru menjawab bahwa di dunia ini ada makhluk hidup yang ukurannya sangat kecil, tidak terlihat mata, dan terdapat dimana-mana.

Ditemukannya organisme kecil atau mikroorganisme oleh Leeuwenhoek menarik minat terhadap perdebatan hebat pada masa itu mengenai asal-muasal kehidupan. Dari mana datangnya mikroorganisme dalam air tersebut ?. Teori generatio spontanae diuji untuk menjawabnya. Pada masa itu, generatio spontanae harus menjelaskan adanya organisme kecil dalam air yang ditemukan Leeuwenhoek, adanya lalat pada daging yang membusuk, adanya tikus dan kecoa dalam sampah dan sejenisnya. Banyak sekali percobaan-percobaan ilmuwan pada masa itu untuk menjawab asal muasal kehidupan dan dari mana asal mikroorganisme ?.

John Needham (1713 – 1781) dalam kertas kerjanya yang diterbitkan pada tahun 1749 menyatakan bahwa lalat dan organisme kecil lainnya tetap tumbuh dalam daging walaupun daging tersebut telah direbus, sehingga ia berkesimpulan bahwa lalat dan mikroorganisme tersebut berasal dari daging. Lazzaro Spallanzani (1729 – 1799), mengatakan bahwa Needham belum melakukan tindakan pencegahan yang memadai untuk menghalangi mikroorganisme dalam udara masuk ke dalam daging rebusannya. Spallanzani kemudian melakukan percobaan dengan merebus kaldu daging dan ditutup rapat-rapat. Hasil percobaan Spallanzani membuktikan bahwa mikroorganisme tidak ditemukan dalam kaldunya dalam beberapa hari, artinya : mikroorganisme tidak berasal dari kaldu daging, sehingga generatio spontanae tidak benar. Franz Schulze dan Theodor Schwann menyanggah kesimpulan Spallanzani, mikroorganisme tidak dapat hidup dalam kaldu karena Spallanzani tidak memberi kesempatan udara sebagai syarat hidup masuk ke dalam kaldu. Franz Schulze (1815 – 1873) melakukan percobaan yang sama dengan Spallanzani tetapi memberi kesempatan udara masuk ke dalam kaldu melewati larutan asam. Theodor Schwann (1810 – 1882) juga melakukan hal yang sama tetapi udara dilewatkan ke pipa yang dipanaskan. Hasil kedua percobaan tersebut juga menyimpulkan bahwa mikroorganisme tidak mungkin berasal dari benda mati, meskipun akhirnya disanggah juga oleh masyarakat tentang kebenarannya.

Seperti orang pada masa kini, orang-orang yang hidup semasa dengan Needham dan Spallanzani-pun merasa sulit menerima konsep yang sama sekali baru, sehingga argumen-argumen peneliti yang kontroversial tentang terjadinya mikroorganisme akan selalu disanggah. Kontroversi ini berlangsung sampai pertengahan abad sembilan belas, yang akhirnya muncul peneliti baru dalam ilmu pengetahuan, yakni : Louis Pasteur (1822 – 1895). Ia adalah seorang ahli kimia yang tertarik pada industri minuman anggur dan perubahan-perubahan yang terjadi selama proses pembuatannya. Perhatiannya terhadap fermentasi inilah yang mendorongnya ikut berdebat tentang generatio spontanae. Fermentasi merupakan oksidasi anaerob karbohidrat oleh kerja enzim mikroorganisme. Fermentasi terjadi karena enzim, yakni zat yang dihasilkan sel hidup yang menyebabkan berlangsungnya reaksi-reaksi kimia tertentu. Sebagai contoh : sari buah apel (karbohidrat) jika dibiarkan akan meragi, menghasilkan alkohol dan asam. Pertanyaan yang timbul dalam proses

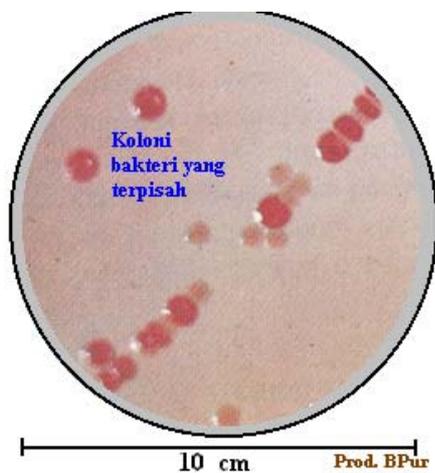
tersebut : apakah alkohol dan asam tadi disebabkan oleh mikroorganisme yang ada dalam sari buah tersebut yang merombak karbohidrat atau sebaliknya mikroorganisme dalam sari buah itulah yang berasal dari proses peragian seperti yang dikemukakan oleh pendukung generatio spontanae ?. Secara tegas Louis Pasteur menentang konsepsi generatio spontanae dan mulai menyimak secara cermat karya-karya pendahulunya lalu melanjutkannya dengan berbagai percobaan untuk mendokumentasikan fakta bahwa mikroorganisme hanya dapat timbul dari mikroorganisme lain (biogenesis) Percobaan-percobaan Louis Pasteur dan pendukungnya memberikan sanggahan terakhir. Beliau mengadakan percobaan dengan merebus kaldu daging dalam botol yang mempunyai tutup dengan lubang berupa pipa melengkung. Tutup botol yang berupa pipa melengkung ini dikenal dengan pipa leher angsa. Kaldu kemudian direbus sampai benar-benar bebas dari kehidupan (disterilisasi). Hasil pengamatannya menunjukkan bahwa kaldu daging tidak ditumbuhi mikroorganisme, meskipun sudah disimpan lama dan tetap berhubungan dengan udara luar lewat pipa leher angsa tersebut. Oleh karena itu, Louis Pasteur menyimpulkan bahwa mikroorganisme tidak timbul secara spontan dari kaldu daging.

Meskipun latar belakang Louis Pasteur adalah ahli kimia, tetapi akibat usaha menyanggah teori generatio spontanae, ia menjadi lebih tertarik pada kegiatan biologi mikroorganisme dan mencurahkan sebagian besar waktunya untuk biologi mikroorganisme. Salah satu tugas pertama di bidang biologi mikroorganisme ini adalah memecahkan masalah yang dialami industri alkohol yang kadang-kadang menghasilkan asam laktat. Dari hasil penelitiannya ternyata diperoleh jawaban bahwa dalam proses fermentasi tersebut terlibat lebih dari satu mikroorganisme. Produksi alkohol karena aktivitas khamir (*Saccharomyces cerevisiae*) dan produksi asam laktat yang tidak diinginkan pada industri minuman ini berasal dari aktivitas bakteri berbentuk batang. Pengamatan ini juga diikuti pengamatan lain yang akhirnya dapat membuktikan juga bahwa fermentasi berlangsung tanpa membutuhkan oksigen bebas, setiap jenis mikroorganisme mampu mengubah karbohidrat menjadi produk akhir. *Saccharomyces cerevisiae* mampu mengubah gula menjadi alkohol, bakteri tertentu mengubah gula menjadi asam laktat dan bakteri yang lainnya mungkin mengubahnya menjadi asam butiran dan seterusnya. Louis Pasteur juga orang pertama yang menggunakan istilah aerob dan anaerob. Proses aerob berarti proses yang memerlukan oksigen bebas, sedangkan proses anaerob berarti proses yang tidak memerlukan oksigen bebas. Bakteri asam laktat yang tidak dikehendaki dalam proses fermentasi pembuatan minuman beralkohol tersebut disebut mikroorganisme atau bakteri *kontaminan*, sedangkan proses terikutnya mikroorganisme yang tidak dikehendaki ke dalam benda atau alat disebut *kontaminasi*.

Salah satu kasus khas pertama yang menunjukkan hubungan mikroorganisme dengan penyakit terjadi pada tahun 1834. sewaktu Agustino Bassi membuktikan bahwa penyakit pada ulat sutera disebabkan karena infeksi jamur. Pada tahun 1865 Louis Pasteur diminta untuk mempelajari penyakit tersebut karena sangat merugikan industri tekstil di Perancis. Louis Pasteur akhirnya menyimpulkan bahwa kepompong ulat sutera yang terkena infeksi disebabkan karena kupu-kupu betina yang sakit.

Robert Koch (1843 – 1910) memulai penelitian dengan pendekatan ilmiah terhadap bidang mikrobiologi penyakit. Ia membuat aturan, yang kemudian dikenal dengan nama postulat Koch, yang digunakan untuk menetapkan bahwa mikroorganisme tertentu sebagai penyebab penyakit atau bukan. Ada empat ketentuan di postulat Koch, yakni :

1. Mikroorganisme tertentu yang dicurigai harus selalu dijumpai berasosiasi dengan organisme yang sakit
2. Mikroorganisme yang dicurigai tersebut harus dapat dipisahkan (diisolasi) dari organisme sakit dan dibiakkan menjadi biakan murni di laboratorium.
3. Biakan murni mikroorganisme yang dicurigai, akan menimbulkan penyakit yang sama jika dengan sengaja ditularkan (diinokulasikan) kepada organisme sejenis yang rentan (susceptible)
4. Dengan menggunakan prosedur laboratorium, mikroorganisme yang sama harus dapat diperoleh dari organisme rentan yang sakit karena sengaja ditulari.



Dari postulat tersebut, Koch juga mengembangkan teknik membiakan mikroorganisme dan teknik pewarnaan pada mikroskopi mikroorganisme. Salah satu teknik membiakan mikroorganisme yang dikembangkan dan sangat membantu dalam dunia mikrobiologi yaitu menemukan media tumbuh yang padat. Media tumbuh sebelumnya yang dikembangkan oleh banyak peneliti merupakan media cair berupa kaldu daging atau ekstrak tanaman.

Media padat yang dikembangkan awalnya berupa media cair yang dicampur dengan gelatin, tetapi media gelatin ini akan mencair pada suhu pertumbuhan, sehingga akhirnya dikembangkan media padat dari agar-agar. Media agar merupakan substrat yang sangat baik untuk memisahkan mikroorganisme, sehingga masing-masing jenisnya menjadi tumbuh terpisah-pisah. Digunakannya media padat ini memungkinkan mikroorganisme tumbuh dengan agak berjauhan dari sesamanya dan setiap selnya berhimpun membentuk koloni atau masa sel sejenis yang dapat dilihat oleh mata (lihat gambar). Semua sel dalam satu koloni sama, kesemuanya merupakan keturunan (progeni) dari satu sel mikroorganisme dan karena itu mewakili apa yang disebut biakan murni.

E. ORGANISASI SEL

Kita masih ingat bahwa Whittaker (1969) menggolongkan organisme berdasarkan organisasi sel dan bagaimana sel mendapatkan nutrisi. Ada dua tipe sel berdasarkan organisasinya, yakni : sel eukariotik dan sel prokariotik. Perbedaan yang paling jelas antara sel eukariotik dan sel prokariotik terletak pada kesederhanaan

struktur sel prokariotik. Sel prokariotik membelah menjadi dua sel bebas dalam waktu relatif singkat (dalam satuan menit), jika dibandingkan dengan sel eukariotik yang membelah dalam waktu lebih lama (dalam satuan jam atau hari). Sel eukariotik merupakan tipe sel yang perkembangannya telah sempurna dan dimiliki oleh organisme tingkat tinggi, seperti pada animalia, plantae, dan pada fungi maupun protista. Tipe sel prokariotik merupakan tipe sel sederhana, dimiliki oleh Monera, yaitu : bakteri dan algae biru.

E.1. Organisasi sel eukariotik

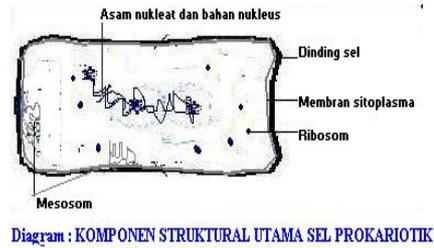


Adanya banyak membran intra-seluler yang menyekat sel menjadi sejumlah organel yang terpisah merupakan sifat utama sel eukariotik. Setiap organel mempunyai fungsi khusus yang diperlukan untuk memelihara sel. Retikulum endoplasmik merupakan struktur membran yang bertindak sebagai tempat biosintesis protein nonsitoplasmik dan hormon tertentu.

Lisosom adalah struktur yang terkait membran yang mengandung berbagai enzim hidrolitik yang penting untuk perombakan bahan kompleks, antara lain untuk memusnahkan mikroorganisme lain yang masuk ke dalamnya (lihat fisiologi). Mitokondria mempunyai struktur membran ganda, membentuk adenosin trifosfat (ATP) yang merupakan senyawa penyimpan energi dalam bentuk ikatan fosfat berenergi tinggi (lihat biokimia). Pada sel tumbuhan yang berfotosintesis, klorofil atau pigmen penangkap cahaya, berada dalam organel yang diselubungi membran yang disebut kloroplas, yang mengubah energi cahaya menjadi ikatan kimia adenosin trifosfat (ATP) berenergi tinggi. Selain itu, tipe sel eukariotik mempunyai silinder panjang yang kosong, disebut mikro-tubulus yang berfungsi dalam menentukan bentuk sel. Semua organel sel eukariotik dikelilingi oleh membran plasma sel, yang bertindak untuk menampung organel intraseluler dalam sel eukariotik.

Sel eukariotik mempunyai nukleus (inti) yang sebenarnya, karena terpisah dari sitoplasma sel oleh membran nukleus berlapis dua. Di dalam nukleus, DNA dan beberapa macam protein (histon) tersusun membentuk benang linear yang disebut kromosom. Jumlah kromosom dalam nukleus eukariotik adalah tetap untuk suatu jenis. Fungi mungkin mempunyai 1 atau 2 kromosom, manusia mempunyai 48 kromosom dan setiap jenis tumbuhan, hewan maupun mikroorganisme mempunyai jumlah kromosom yang berlainan. Apabila sel eukariotik membelah, melalui proses yang sangat rumit (lihat genetika), melengkapi sel anakan dengan perangkat kromosom yang lengkap, sehingga sel anakan juga mengandung informasi genetik yang identik dengan yang terdapat pada sel induk.

E.2. Organisasi sel prokariotik



Tipe sel yang diwakili oleh bakteri dan cyanophyceae disebut prokariotik. Susunan sel juga diikat oleh membran plasma tetapi organelnya tidak bermembran atau organelnya tidak terpisah dari sitoplasma karena membran.

Sel prokariotik tidak mempunyai mitokondria dan jika bersifat fotosintetik tidak mempunyai kloroplas. Energi sel prokariotik diproduksi melalui proses oksidasi fosforilasi, dengan membangkitkan gradien ion melintasi membran sel prokariotik yang mirip dengan gradien yang melintasi membran mitokondria atau kloroplas yang mendorong terjadinya sintesis oleh organel-organel tersebut.

Aliran isi sel (sitoplasma) sering terlihat dalam sel eukariotik, tetapi tidak tampak dalam sel prokariotik. Sel prokariotik mempunyai dinding sel di luar membran sitoplasma yang mengandung asam muamarat, suatu senyawa yang tidak terdapat pada sel eukariotik. Sel prokariotik juga memiliki ribosom (organel lonjong yang berfungsi untuk tempat sintesis protein) yang ukurannya lebih kecil dibanding ribosom dalam sitoplasma sel eukariotik.

Sel prokariotik tidak mempunyai nukleus yang sebenarnya, karena DNA tidak terbungkus membran yang memisahkan dengan sitoplasma. DNA sel tidak terdapat sebagai kromosom tersendiri tetapi dalam benang tunggal sebagai struktur lingkaran tertutup dan sama sekali tidak mengandung histon. Gen sel prokariotik selalu disalin langsung ke dalam RNA pesuruh, sedangkan gen sel eukariotik mempunyai urutan intron yang lebih dahulu disalin menjadi calon RNA.