

## Pembelajaran 11: Bioteknologi

---

Sumber: Modul PPG (Pendidikan Profesi Guru)

Modul 6. Bioteknologi

Penulis: Eko Prasetya, M. Sc, dkk

### A. Kompetensi

Setelah mempelajari materi ini diharapkan peserta menguasai kompetensi sebagai berikut :

1. Memahami pengertian dan prinsip-prinsip bioteknologi.
2. Memahami perkembangan bioteknologi.
3. Memahami peranan mikroorganisme dalam bioteknologi.

### B. Indikator Pencapaian Kompetensi

Setelah melaksanakan pembelajaran, guru dapat menunjukkan beberapa indikator tentang Bioteknologi berikut ini.

1. Menjelaskan pengertian bioteknologi.
2. Menjelaskan prinsip-prinsip dasar bioteknologi.
3. Menjelaskan fase perkembangan bioteknologi.
4. Menjelaskan peranan mikroorganisme dan bioteknologi konvensional

### C. Uraian Materi

#### 1. Pengertian bioteknologi

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi sangat dipengaruhi oleh berkembangnya ilmu bioteknologi. Bioteknologi mengalami perkembangan yang sangat pesat dalam kurun waktu 20 tahun terakhir. Perkembangan bioteknologi sejalan dengan tingginya kebutuhan hidup manusia yang tidak sebanding dengan produksi yang memenuhi kebutuhan tersebut. Pada negara maju, bioteknologi mendapat perhatian yang sangat serius dan dikembangkan oleh pemerintah secara intensif untuk memenuhi kebutuhan manusia maupun untuk produksi industri. Bidang utama yang menjadi perhatian dalam pengembangan bioteknologi adalah pangan, farmasi, pengolahan limbah, dan rekayasa genetika.

Pengembangan ilmu bioteknologi bertujuan untuk meningkatkan kesejahteraan dan kualitas hidup manusia.

Bioteknologi merupakan pemanfaatan sistem kehidupan dan organisme untuk mengembangkan dan menciptakan produk baru untuk menghasilkan atau memodifikasi produk atau proses dengan tujuan memperoleh produk yang lebih baik dari segi kualitas maupun kuantitas serta singkat dalam waktu produksi. Bioteknologi berasal dari kata *Bios* yang artinya hidup, *teuchos* yang artinya alat, dan *logos* yang artinya hidup sehingga bioteknologi dapat diartikan sebagai cabang ilmu yang mempelajari pemanfaatan makhluk hidup maupun produk dari makhluk hidup dalam proses produksi barang dan jasa untuk meningkatkan kesejahteraan umat manusia.

Primrose mengartikan bioteknologi sebagai penerapan prinsip-prinsip biologi, biokimia, dan rekayasa dalam mengolah suatu bahan dan jasa memanfaatkan organisme hidup dan komponennya untuk menghasilkan barang dan jasa yang bermanfaat bagi manusia. *Office of Technical Assistance (OTA)*, Amerika Serikat menyatakan bioteknologi sebagai teknik pendayagunaan organisme hidup atau bagian dari organisme tersebut untuk membuat atau memodifikasi produk guna meningkatkan atau memperbaiki sifat tanaman atau hewan. *European Federation of Biotechnology* menyatakan bahwa bioteknologi merupakan integrasi dari ilmu pengetahuan alam dan ilmu rekayasa dengan tujuan meningkatkan aplikasi organisme hidup, sel, atau bagian dari organisme hidup untuk menghasilkan barang dan jasa. Pengertian bioteknologi kemudian berkembang sejak penemuan metode pembuatan DNA rekombinan dan fusi sel sehingga mengarah ke proses bioteknologi modern. *Organization for Economic Co-operation and Development (OECD)* mendefinisikan bahwa teknologi merupakan penerapan prinsip pengetahuan dan rekayasa untuk penanganan dan pengolahan bahan dengan bantuan agen biologis dalam menghasilkan barang dan jasa yang mendukung pertumbuhan ekonomi.

Penggunaan istilah bioteknologi pertama kali diperkenalkan oleh ilmuwan asal Hungaria, Karl Ereky, pada tahun 1917 untuk menggambarkan interaksi biologi dan teknologi manusia dengan memanfaatkan sistem biologi serta organisme untuk mengubah bahan baku menjadi suatu produk yang berguna bagi

masyarakat. Tonggak sejarah bioteknologi modern dimulai sejak tahun 1928 sejak antibiotik penisilin digunakan oleh Alexander Fleming untuk pengobatan penyakit kulit yang disebabkan oleh bakteri *Staphylococcus aureus* hingga pada tahun 1940 penisilin digunakan untuk mengobati infeksi pada manusia. Tahun 1950, antibiotik berhasil ditemukan pada beberapa strain bakteri sehingga produksi skala besar mulai dilakukan untuk mendapatkan berbagai antibiotik untuk kepentingan pengobatan.

## **2. Prinsip-prinsip dasar bioteknologi**

Bioteknologi merupakan ilmu multidisiplin yang melibatkan berbagai disiplin ilmu seperti biologi, kimia, biokimia, molekular, genetika, imunologi, dan mikrobiologi. Ruang lingkup bioteknologi sangat luas sehingga untuk mempermudah pembagian bioteknologi, para ilmuwan membagi bioteknologi menjadi bioteknologi merah, hijau, putih, dan biru,

*Bioteknologi merah* merupakan cabang ilmu bioteknologi yang mempelajari aplikasi bioteknologi pada bidang medis mencakup tindakan pencegahan, diagnosis, dan pengobatan suatu penyakit. *Bioteknologi hijau* berkaitan dengan aplikasi bioteknologi pada bidang pertanian dan peternakan. *Bioteknologi putih* merupakan cabang bioteknologi yang diaplikasikan pada bidang industri dengan pemanfaatan mikroorganisme atau enzim untuk memproduksi produk baru baik produk pangan maupun tidak, biomaterial, biopolimer, dan senyawa baru dalam skala industri. *Bioteknologi biru* merupakan bioteknologi yang diaplikasikan dalam bidang akuatik mencakup perairan dan kelautan seperti pemanfaatan berbagai tumbuhan laut sebagai sumber energi dan biofuel. Penggolongan bioteknologi yang terbaru adalah bidang bioinformatika. *Bioinformatika* merupakan bidang multidisiplin yang mengkaji masalah biologi menggunakan komputasi. Perkembangan bioteknologi saat ini sejalan dengan perkembangan bioinformatika. Bioinformatika memiliki peran penting dalam genomik fungsional, genomik struktural, dan proteomik yang mampu memproduksi kebutuhan penting yang bermanfaat bagi manusia.

Prinsip dasar bioteknologi adalah adanya agen biologis (mikroba, enzim, sel), pendaaygunaan teknologi untuk memanipulasi DNA, produk dan jasa yang diperoleh serta penggunaan berbagai disiplin ilmu yang berkaitan dengan

produk. Para ilmuwan memberikan batasan terkait bioteknologi yaitu berkaitan dengan katalis biologi (enzim) untuk fungsi atau proses tertentu, penciptaan dengan memanfaatkan katalis, dan pemisaan atau pemurnian produk esensial atas produk yang dihasilkan.

Pemahaman prinsip dan batasan bioteknologi akan memberikan dasar konsep yang tepat dalam memahami bioteknologi untuk kepentingan manusia. Pada awalnya bioteknologi dianalogikan dengan industri yang menggunakan agen-agen mikrobiologi untuk memproduksi barang dan jasa. Dalam perkembangannya, tanaman dan hewan juga dapat dieksplorasi secara komersial. Dengan demikian ruang lingkup bioteknologi menjadi sangat luas, mencakup seluruh teknik untuk menghasilkan barang atau jasa dengan memanfaatkan sistem biologi maupun sel hidup.

### 3. Sejarah perkembangan bioteknologi

Bioteknologi telah dimulai sejak manusia mulai meningkatkan kualitas hidupnya dengan memanfaatkan agen-agen biologi. Sejarah bioteknologi sebelum era teknologi maju diawali dengan ditemukannya proses fermentasi bir dan pembuatan keju oleh masyarakat Mesir dan Sumeria pada sekitar tahun 2000 SM, kemudian berkembang pada tahun 500 SM ditemukannya jamur penghasil antibiotik pada kedelai untuk menangani infeksi. Masyarakat Mesir kuno telah mengenal pemanfaatan mikroorganisme untuk pembuatan bir, anggur, cuka, yogurt, dan lain-lain. Bahkan bangsa Yunani kuno telah melakukan proses bioteknologi dengan melakukan pemuliaan pada tanaman-tanaman dengan kualitas baik serta melakukan ternak hewan-hewan yang potensial untuk dimanfaatkan oleh manusia. Perkembangan bioteknologi kemudian semakin berkembang sejak ditemukannya mikroskop oleh ilmuwan Belanda, Zacharias Janssen, pada abad 16 dan ditemukannya sel oleh Robert Hooke dan bakteri oleh Antonie van Leeuwenhoek pada abad 17.

Penemuan vaksinasi *small pox* oleh Edward Jenner menjadi tonggak sejarah perkembangan bioteknologi di bidang kesehatan. Pada abad 19, enzim dan protein mulai ditemukan dan pada saat yang sama, salah satu bakteri penting dalam proses pengembangan antibiotik secara bioteknologi, *Escherichia coli*,

ditemukan. Suharto menemukan membagi Era perkembangan bioteknologi ke dalam 5 era yaitu:

- a. Era Pra Pasteur, sebelum tahun 1865, penggunaan teknik fermentasi menggunakan mikroorganisme untuk menghasilkan produk.
- b. Era Pasteur (1865-1940), pengembangan industri fermentasi untuk membuat etanol, butanol, asam organik serta pengolahan limbah secara aerob.
- c. Era Antibiotik (1940-1960), pembuatan penisilin yang digunakan pada saat tentara Amerika di Normandy melakukan perang dunia kedua, vaksin virus, teknologi kultur sel hewan, teknologi fermentasi media cair, dan transformasi steorid.
- d. Era Pasca Antibiotik (1960-1975), isolasi asam-asam amino, eludasi struktur DNA, protein sel tunggal, enzim, protein sel tunggal, biogas, dan teknologi DNA rekombinan.
- e. Era Bioteknologi Modern (1975-sekarang), penggunaan rekayasa genetika, zat antibodi monoklonal, produksi hormon, dan lain-lain.

Perkembangan dan kemajuan bioteknologi tidak dapat dilepaskan dari kemajuan ilmu-ilmu lainnya seperti mikrobiologi, biokimia, biologi molekuler, dan genetika. Bioteknologi modern terlahir diawali dengan inovasi para ilmuwan untuk mengembangkan teknologi DNA rekombinan. Perusahaan bioteknologi pertama di dunia, Genetech, di Amerika Serikat berhasil memproduksi protein hormon insulin rekombinan yang diintroduksi ke dalam sel bakteri *E. coli* menggunakan teknologi DNA rekombinan. Bioteknologi molekuler berperan dalam proses memanipulasi organisme pada taraf seluler dan molekuler.

Tabel 12 Perkembangan sejarah bioteknologi

Tahun	Penemuan
1917	Ereky memperkenalkan istilah <i>Bioteknologi</i>
1943	Penisilin diproduksi dalam skala industri
1944	Avery, Macleod, McCarty mendemonstrasikan bahwa DNA adalah bahan genetika
1953	Watson dan Crick menemukan struktur DNA
1961	Jurnal <i>Biotechnology and Bioengineering</i> didirikan 1970 Enzim restriksi endonuklease pertama kali diisolasi
1972	Khorana dan tim berhasil mensintesis secara kimiawi seluruh gen tRNA 1973 Boyer dan Cohen memaparkan teknologi DNA rekombinan

Tahun	Penemuan
1975	Kohler dan Mistein menjabarkan produksi antibodi monoklonal 1976 Perkembangan teknik-teknik untuk menentukan sekuen DNA
1978	Genetech menghasilkan insulin manusia dalam <i>E. coli</i> untuk pertama kali
1980	Mikroorganisme hasil rekayasa genetika dapat dipatenkan
1981	Untuk pertama kali <i>automated DNA synthesizers</i> dijual secara komersial dan kit diagnostik berdasarkan antibodi disetujui untuk dipakai di Amerika Serikat
1982	Vaksin hewan hasil teknologi DNA rekombinan disetujui pemakaiannya di Eropa
1983	Plasmid Ti hasil rekayasa genetika dipakai untuk transformasi DNA rekombinan ke tanaman target
1988	Amerika Serikat memberikan patent untuk mencit yang rentan kanker hasil rekayasa genetika
1988	Metode <i>Polymerase Chain Reaction</i> dipublikasikan oleh Karry Mullis
1990	Percobaan terapi gen sel somatik pada manusia disetujui oleh Amerika Serikat dan proyek pemetaan genom manusia mulai dilakukan
1997	Kloning sel inti pada mamalia dengan menggunakan sel domba 1999 Kode genetik lengkap dari kromosom manusia telah diuraikan
2000	Para ilmuwan di <i>Celera Genomics</i> dan <i>Human Genome Project</i> menyelesaikan konsep kasar genom manusia.
2001	Majalah <i>Science and Nature</i> mempublikasi urutan genom manusia dan memungkinkan ilmuwan di seluruh dunia untuk

	meneliti dan mencari pengobatan baru untuk penyakit terkait genetik
2002	Padi transgenik yang mengandung beta karoten mulai diproduksi
2003	Pemetaan genom manusia telah selesai dilakukan
2004	Penggunaan antibodi monoklonal yang merupakan antiangiogenik disetujui digunakan untuk terapi kanker
2005	Penanaman tanaman transgenik dilakukan di 21 negara
2006	Penggunaan vaksin untuk <i>papillomavirus</i> di 82 negara
2007	Para ilmuwan menemukan cara menggunakan sel kulit manusia untuk membuat sel induk embrionik
2008	Ahli kimia di Jepang untuk pertama kalinya membuat molekul DNA secara artifisial
2009	Sekunasing genom virus H1N1
2010	Craig Venter telah berhasil menunjukkan bahwa genom artifisial dapat bereplikasi secara otonom
2012	Draft genom tanaman gandum telah selesai dianalisis
2013	<i>United States Food &amp; Drug Administration</i> mengeluarkan peraturan terkait dengan rancangan penggunaan obat biosimilar

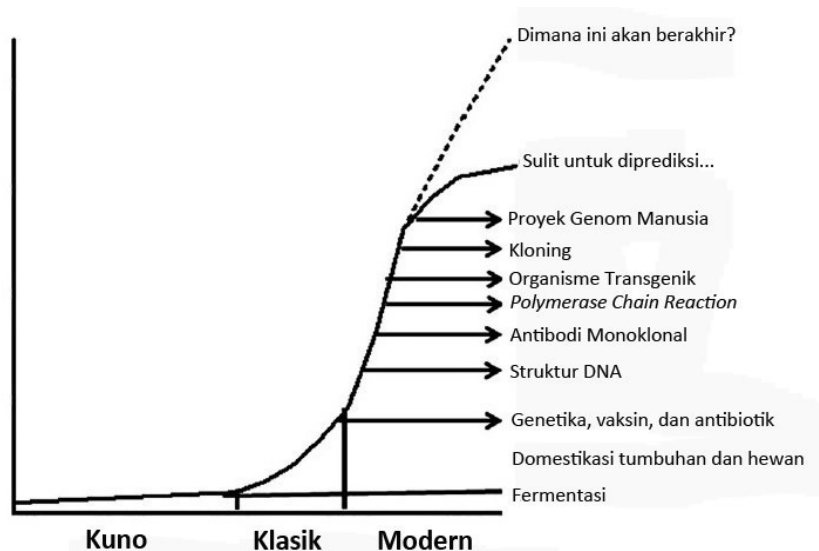
Verma *et al.* (2011) membagi tahapan perkembangan bioteknologi ke dalam tiga tahapan atau kategori yang berbeda yaitu bioteknologi kuno, bioteknologi klasik, dan bioteknologi modern (Gambar 114).

a. Bioteknologi Kuno (sebelum – 1800)

Sebagian besar perkembangan bioteknologi dimasa kuno terjadi sebelum tahun 1800. Jika melihat semua perkembangan bioteknologi di masa kuno, sebagian besar penemuan diperoleh berdasarkan pengamatan umum tentang alam yang dapat digunakan untuk kehidupan manusia pada saat itu.

Makanan, pakaian, dan tempat tinggal merupakan kebutuhan dasar manusia yang paling penting, terlepas pada masa apa pun manusia tersebut hidup. Satu-satunya yang berbeda adalah era dimana mereka berasal. Makanan telah menjadi kebutuhan yang tidak terelakkan sejak keberadaan manusia. Pada awalnya, manusia memakan daging mentah kapanpun mereka menemukan hewan mati, namun akibat perubahan lingkungan, mereka mengalami kekurangan makanan. Pepatah lama mengatakan bahwa “kebutuhan adalah ibu dari semua penemuan”. Pada masa bioteknologi kuno, manusia mengeksplorasi kemungkinan untuk membuat makanan tersedia dengan

cara menumbuhkannya didekat tempat tinggal mereka sehingga kebutuhan dasar untuk makanan dapat dipenuhi dengan mudah. Pada masa itu, manusia membawa bibit tanaman (sebagian besar biji-bijian) dan menaburkan bibit tersebut disekitar tempat tinggalnya. Seiring dengan kebutuhan dan pengetahuan untuk membudidayakan tanaman, manusia mulai memahami pentingnya air, cahaya, dan persyaratan lainnya yang dibutuhkan tanaman agar tumbuh dengan optimal. Prinsip kebutuhan yang sama juga mendorong manusia untuk memulai domestikasi pada hewan liar untuk membantu dan memenuhi kebutuhan hidup manusia.



Gambar 129. Sejarah perkembangan bioteknologi. Beberapa penemuan penting telah digambarkan dalam grafik ini dengan kemungkinan untuk pertumbuhannya yang tidak terbatas di masa depan  
(Sumber: Verma *et al.*, 2011)

Pada masa ini, kebiasaan manusia untuk berburu dan mengumpulkan makanan telah hilang karena domestikasi menjadikan hewan buruan menjadi lebih dekat dan mengurangi resiko selama proses perburuan. Domestikasi hewan liar adalah awal dari observasi, implikasi, dan aplikasi pemuliaan hewan. Perkembangan ini diiringi juga dengan perkembangan pengetahuan manusia untuk mengembangkan metode pengawetan dan penyimpanan makanan. Manusia menggunakan gua-gua yang dingin untuk menyimpan makanan pada jangka



yang panjang dan proses ini menjadi jalan bagi evolusi tempat-tempat penyimpanan produk makanan.



Gambar 130. Masa bercocok tanam dan beternak di zaman Mesir kuno  
(Sumber: [www.canacopegdl.com](http://www.canacopegdl.com))

Setelah teknologi penyimpanan berkembang, manusia beralih pada penemuan-penemuan baru seperti keju, yoghurt, dan lain-lain. Ragi merupakan salah satu mikroba tertua yang telah digunakan untuk kepentingan manusia untuk membuat roti, produksi cuka, dan produk fermentasi lainnya termasuk minuman beralkohol. Cuka yang ditemukan memiliki kemampuan untuk menghambat pertumbuhan mikroba tertentu dan oleh karena itu, cuka juga sukses digunakan sebagai bahan pengawetan makanan. Penemuan dan manfaat dari proses ini mengarahkan manusia pada masa itu untuk menciptakan perbaikan lebih lanjut pada proses dan produk. Fermentasi merupakan cara yang sangat baik untuk memperbaiki kondisi kehidupan manusia pada masa itu karena menghasilkan banyak produk baru, meskipun mereka tidak paham tentang prinsip dibalik proses fermentasi.

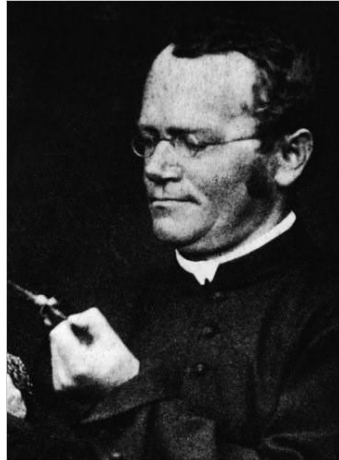
#### b. Bioteknologi Klasik

Tahapan kedua perkembangan bioteknologi disebut dengan bioteknologi klasik. Tahapan ini terjadi dari tahun 1800 hingga hampir pertengahan abad ke dua

puluh. Selama periode ini, berbagai variasi hasil observasi dengan bukti-bukti ilmiah mulai bermunculan dan sangat membantu untuk memecahkan pertanyaan-pertanyaan bioteknologi. Masing-masing penemuan membuka jalan bagi penemuan-penemuan baru.

Dasar-dasar transfer informasi genetik merupakan inti dari bioteknologi. Penemuan ini pertama kalinya dikemukakan oleh Gregor John Mendel (1822-1884), biarawan Augustinian Austria, pada tumbuhan *Pisum sativum* (Gambar 116). Mendel pada waktu itu mempresentasikan hukum pola pewarisan sifat pada forum *Natural Science Society* di Burn, Austria. Mendel menyatakan bahwa terdapat unit internal genetik yang tidak terlihat tetapi menjadi faktor penentu pewarisan sifat yang disebut dengan gen. Namun pada masa itu, para ilmuwan kurang tertarik dengan hasil penelitian yang diuraikan oleh Mendel hingga 34 tahun setelah kematiannya, ilmuwan lain seperti Hugo de Vries, Erich Von Tschermak, dan Carl Correns memvalidasi karya Mendel pada tahun 1900. Alasan mengapa pada masa itu penelitian Mendel tidak mendapat perhatian adalah karena pada masa itu Teori Evolusi Charles Darwin begitu menyita perhatian publik sehingga menutupi pentingnya pekerjaan yang telah dilakukan oleh Mendel.

Pada masa yang sama, Robert Brown menemukan inti sel, sementara pada tahun 1868, Fredrich Miescher, ilmuwan asal Swiss menemukan *nuklein*, yaitu senyawa yang terdiri dari asam nukleat yang diekstrak dari sel darah putih. Kedua penemuan ini menjadi dasar perkembangan biologi molekuler modern untuk menemukan DNA sebagai materi genetik dan peran DNA dalam transfer informasi genetik. Pada tahun 1881, Robert Koch, seorang dokter asal Jerman menggambarkan koloni bakteri yang tumbuh dari irisan kentang (medium pada mikroba pertama). Walter Hesse, salah satu rekan kerja Robert Koch, menemukan agar-agar setelah melihat jeli yang selalu padat bahkan suhu tinggi di musim panas. Nutrien yang menjadikan jeli memadat kemudian menjadi media pertama yang paling dapat diterima untuk membuat kultur mikroba murni sehingga mikroba dapat diidentifikasi.



Gambar 131. Gregor Mendel, biarawan asal Austria yang menemukan pola pewarisan sifat pada makhluk hidup.  
(Sumber: [www.nytimes.com](http://www.nytimes.com))

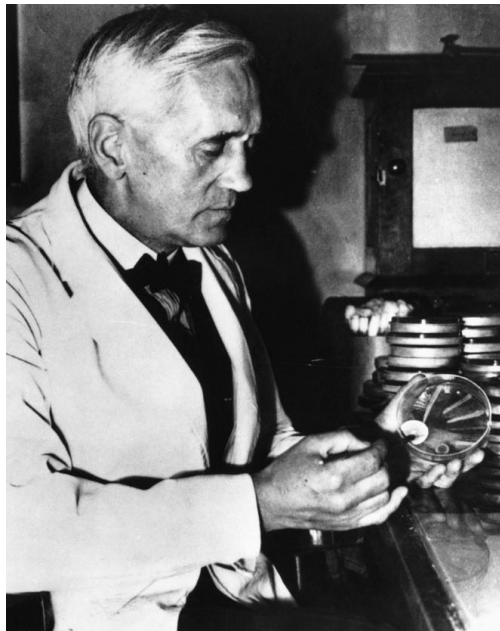
Pada tahun 1888, Heinrich Wilhem Gottfried Von Waldeyer-Hart, ilmuwan Jerman, menetapkan istilah kromosom, sebagai struktur yang terorganisir dari DNA dan protein yang ada di dalam sel. Penemuan penting selama periode ini adalah dikembangkannya vaksin terhadap cacar dan rabies oleh Edward Jenner (Gambar 117), dokter Inggris dan Louis Pasteur, ahli biologi Prancis.



Gambar 132. Edward Jenner, penemu vaksin untuk penyakit cacar dan rabies  
(Sumber: [www.missedinhistory.com](http://www.missedinhistory.com))

Pada saat ini, perkembangan ilmu biologi telah mencapai fase eksponensial. Johannsen memberikan istilah “genotip” dan “fenotip”. Genotip menggambarkan konstitusi genetik yang terdapat pada suatu organisme sedangkan fenotip menggambarkan tampilan organisme yang sebenarnya. Pada saat ini, genetika telah mendapatkan perhatian masyarakat luas dan dianggap sebagai ilmu yang sangat penting. Pada saat itu, di Amerika Serikat dimulai gerakan *Eugenic* (perlakuan yang mengarah kepada peningkatan kualitas genetik) pada tahun 1924, akibatnya pada tahun tersebut, Undang-Undang Imigrasi Amerika Serikat digunakan untuk membatasi masuknya imigran dari wilayah Selatan dan Timur Eropa atas dasar rendahnya kualitas genetiknya.

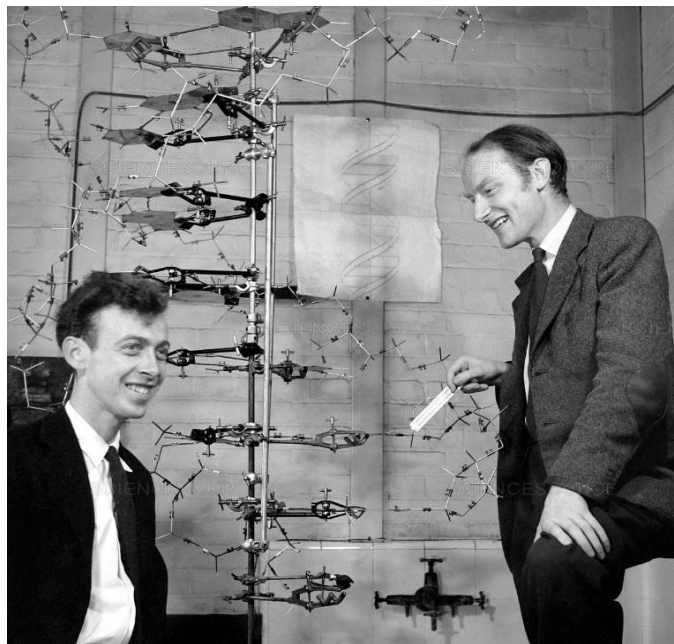
Pada tahun 1928, Alexander Fleming (Gambar 118), seorang dokter berkebangsaan Inggris, menemukan senyawa antibiotik ketika mengamati satu mikroorganisme dapat digunakan untuk menghambat pertumbuhan dan membunuh mikroorganisme yang lain. Fleming melihat bahwa semua bakteri (*Staphylococcus*) mati ketika dalam medium yang sama terdapat jamur yang tumbuh. Fleming menyimpulkan bahwa penisilin merupakan zat toksin antibakteri yang berasal dari jamur *Penicillium notatum*, dapat digunakan sebagai obat untuk melawan banyak penyakit menular yang diakibatkan oleh bakteri.



Gambar 133. Alexander Flemming, penemu senyawa antibiotik dari mikroba  
(Sumber: [www.sciencehistory.org](http://www.sciencehistory.org))

c. Bioteknologi Modern

Perang dunia kedua menjadi faktor penghambat utama berkembangnya ilmu pengetahuan. Setelah berakhirnya perang dunia kedua, beberapa penemuan yang sangat penting dilaporkan dan membuka jalan bagi bioteknologi modern. Pada tahun 1953, Watson & Crick untuk pertama kalinya melaporkan model struktur DNA yang dikenal dengan model rantai ganda DNA (Gambar 119). Model ini mampu menjelaskan berbagai fenomena terkait dengan replikasi DNA dan peran DNA dalam pewarisan sifat. Pada tahun 1961, Jacob dan Monod memperkenalkan konsep operon, sementara Kohler dan Milestein pada tahun 1975 memperkenalkan prinsip hibridisasi sitoplasma dan menghasilkan antibodi monoklonal pertama yang telah merevolusi prosedur diagnostik.



Gambar 134. Watson dan Crick, penemu model struktur DNA

Dr. Hargobind Khorana mampu mensintesis DNA pertama di dalam tabung reaksi sementara Karl Mullis mampu memperkuat temuan Khorana dengan mengamplifikasi DNA hingga ribuan kali lebih banyak daripada jumlah DNA template yang tersedia (Gambar 120). Dengan memanfaatkan penemuan ini, para ilmuwan mampu memasukkan DNA asing ke sel inang lain dan bahkan mampu memantau introduksi DNA dari generasi ke generasi berikutnya. Ian Wilmut, seorang ilmuwan Irlandia berhasil mengkloning mamalia dengan menggunakan domba sebagai model dan menamai domba hasil kloning tersebut

dengan nama “Dolly”. Craig Venter pada tahun 2000 mampu menskuensing genom manusia dan genom manusia pertama yang dianalisis adalah genom Watson dan Graig Venter. Penemuan ini memiliki implikasi dan aplikasi yang tidak terbatas. Pada tahun 2010, Craig Venter menemukan bahwa genom sintetis dapat bereplikasi secara otonom.



Gambar 135. Kary Mullis mendapatkan Nobel dibidang Kimia pada usia 49 tahun atas penemuan metode Polymerase Chain Reaction yang merubah metode perbanyakan DNA dari kloning pada bakteri (in vivo) menjadi in vitro

Bioteknologi modern tidak dapat terlepas dari aplikasi metode mutakhir yang telah ditemukan pada tahap bioteknologi kuno, klasik, dan modern seperti:

- a. Kultur Jaringan. Konsep dasar dari kultur jaringan adalah totipotensi sel. Keuntungan teknik ini adalah sifat tanaman yang identik dengan induknya dan perbanyakannya lebih cepat.
- b. Analisis genetik. Analisis genetik mempelajari sifat dan karakter gen yang diwariskan dari generasi ke generasi serta interaksi antara gen dengan lingkungannya untuk menghasilkan suatu fenotip.
- c. Manipulasi organisme. Manipulasi mikroba, tanaman, atau hewan dan pemilihan individu yang diinginkan untuk perbaikan generasi yang baru.

- d. Analisis DNA. Analisis DNA merupakan proses pengambilan DNA atau RNA dari organisme melalui tahapan isolasi DNA, polymerase chain reaction, elektroforesis, dan analisis hasil yang dibantu oleh software bioinformatika.
- e. Teknologi DNA rekombinan. Teknologi DNA rekombinan merupakan metode untuk merekayasa genetik suatu organisme dengan mengintroduksi gen yang interes ke dalam suatu organisme.
- f. Polymerase Chain Reaction. PCR merupakan teknik amplifikais atau penggandaan gen target dengan menggunakan primer spesifik untuk inisiasi. PCR bekerja berdasarkan prinsip replikasi DNA.
- g. Hibridoma. Hibridoma merupakan metode untuk menggabungkan dua jenis sel dengan tujuan mendapatkan hibrid yang memiliki kemampuan dari kedua sel sebelumnya.
- h. Kloning. Kloning merupakan metode menghasilkan keturunan yang dikehendaki identik dengan sel induknya.
- i. Hibridisasi DNA. Hibridisasi DNA merupakan metode untuk menyeleksi sekuen DNA dengan menggunakan probe DNA rantai tunggal untuk proses hibridisasi rantai ganda DNA.
- j. Sekuensing DNA. Sekuensing DNA adalah proses pembacaan urutan basa nukleotida gen interes.

#### **4. Peranan mikroorganisme dan bioteknologi konvensional**

Mikroorganisme memegang peranan penting dalam perkembangan bioteknologi. Pemanfaatan mikroorganisme dalam berbagai tahapan perkembangan bioteknologi dari bioteknologi kuno hingga modern, menjadikan mikroorganisme sebagai organisme penting dan selalu ikut serta disetiap penemuan besar terkait bioteknologi. Alasan utama mikroorganisme dijadikan subjek pada proses bioteknologi yaitu:



- a. Pertumbuhan dan perbanyak mikroba perlangsung dengan cepat
- b. Mudah diperoleh dari lingkungan
- c. Sifat genetik mudah dimodifikasi melalui rekayasa genetika
- d. Memiliki plasmid yang digunakan sebagai vektor
- e. Tidak tergantung iklim dan kondisi lingkungan
- f. Memiliki sifat yang tetap dan tidak berubah

### A. Mikroorganisme di bidang bioteknologi pertanian

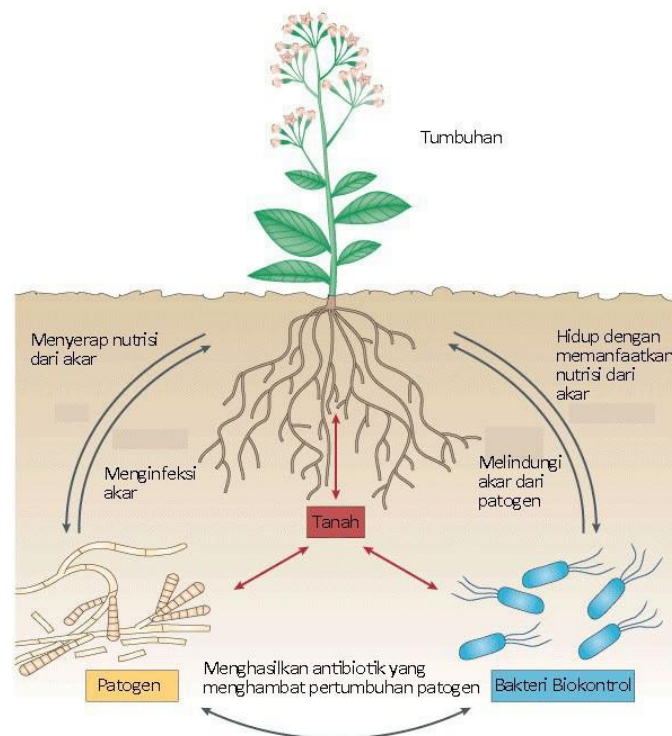
Tanah merupakan wilayah dengan tingkat keanekaragaman mikroorganisme yang tinggi (lebih dari 100 juta mikroba per gram tanah), sehingga sangat mempengaruhi kualitas dari tanah tersebut. Sebagian besar mikroba memiliki peranan yang menguntungkan bagi bidang pertanian seperti dekomposisi, fiksasi nitrogen, palarutan fosfat, perangsangan pertumbuhan, biokontrol patogen hama dan bakteri serta membantu proses penyerapan unsur hara. Beberapa cabang bidang pertanian yang memanfaatkan mikroorganisme:

- a. Pembuatan kompos bioaktif. Proses pengomposan dapat dipercepat dengan menggunakan mikroba komposer dengan kemampuan yang baik. Penggunaan mikroba dalam proses dekomposisi akan mempersingkat waktu proses pengomposan. Mikroba dekomposer yang sering digunakan dalam pembuatan pupuk kompos antara lain *Trichoderma pseudokoningii*, *Cytopaga sp*, dan fungi pelapuk putih. Mikroba akan tetap hidup dan aktif di dalam kompos dan pada saat diberikan pada tanaman, mikroba dekomposer berperan ganda dengan membantuk tanaman mengendalikan organisme patogen.
- b. Biofertilizer. Penggunaan pupuk kimia saat ini sudah sangat melewati ambang batas kebutuhan. Untuk memenuhi kebutuhan zat hara tanaman, petani dapat mengandalkan pupuk kompos yang diproduksi menggunakan mikroba. Mikroba tanah banyak yang berperan dalam penyerapan unsur hara bagi tanaman. Salah satu nutrisi penting bagi tanaman adalah Nitrogen yang sangat melimpah diudara tetapi sedikit di tanah. Tanaman tidak dapat mengambil nitrogen udara secara langsung sehingga membutuhkan mikroba pengikat nitrogen (contoh: *Rhizobium sp*) untuk memfiksasi nitrogen dari udara bebas. Mikroba akan membentuk simbiosis dengan tanaman



untuk dapat dimanfaatkan dalam proses pengikatan oksigen bebas diudara. Mikroba non simbiotik (*Azoospirillum sp* dan *Azetobacter sp*) juga dapat mengikat nitrogen bebas udara ke dalam tanah. Bakteri yang dapat melarutkan fosfat dalam tanaman antara lain *Aspergillus sp*, *Penicillium sp*, *Pseudomonas sp*, dan *Bacillus megatherium*. Mikroba-mikroba tersebut dapat digunakan sebagai biofertilizer untuk membantu tanaman memperoleh nutrisi dari tanah maupun udara.

- c. Agen Biokontrol. Hama dan penyakit merupakan masalah serius dalam bidang pertanian. Penggunaan pestisida dan fungisida secara besar-besaran akan merusak lingkungan. Mikroba dapat menjadi agen biokontrol alami terhadap patogen tanaman (Gambar 121). Mikroba yang biasa digunakan sebagai biokontrol antara lain *Bacillus thurigiensis*, *Bauveria bassiana*, *Paecilomyces fumosoroseus*, dan *Methazium anisopliae*. Selain itu, *Trichoderma sp* juga dapat mengendalikan penyakit tanaman yang disebabkan oleh *Ganoderma sp*, jamur akar putih, dan *Phytopthora sp*.



Gambar 136. Bakteri sebagai agen biokontrol tanaman terhadap patogen yang merusak tanaman.

(Sumber: Haas & Defago, 2005)

### B. Mikroorganisme di bidang bioteknologi peternakan dan perikanan

Peran mikroorganisme dalam bidang peternakan dan perikanan sangat penting. Beberapa penyakit yang menyerang ternak dan ikan disebabkan oleh mikroorganisme. Peran mikroba yang menguntungkan akan membantu metabolisme serta sebagai bahan pakan atau pakan tambahan serta probiotik. Dalam hal metabolisme, mikroba membantu ternak dan ikan menghidrolisis selulosa karena enzim yang dimilikinya. Selain itu, bakteri mampu memfiksasi urea sebagai sumber nitrogen.

### C. Mikroorganisme di bidang bioteknologi pangan

Mikroorganisme dapat mengubah substrat suatu bahan menjadi produk yang berbeda melalui proses fermentasi. Teknologi fermentasi telah digunakan sejak zaman dahulu di awal bioteknologi berkembang. Proses fermentasi menghasilkan berbagai macam produk makanan dan minuman seperti tempe, kecap, yogurt, keju, oncom, roti, dan minuman beralkohol. Berikut beberapa bahan pangan yang diproduksi dengan memanfaatkan mikroorganisme:

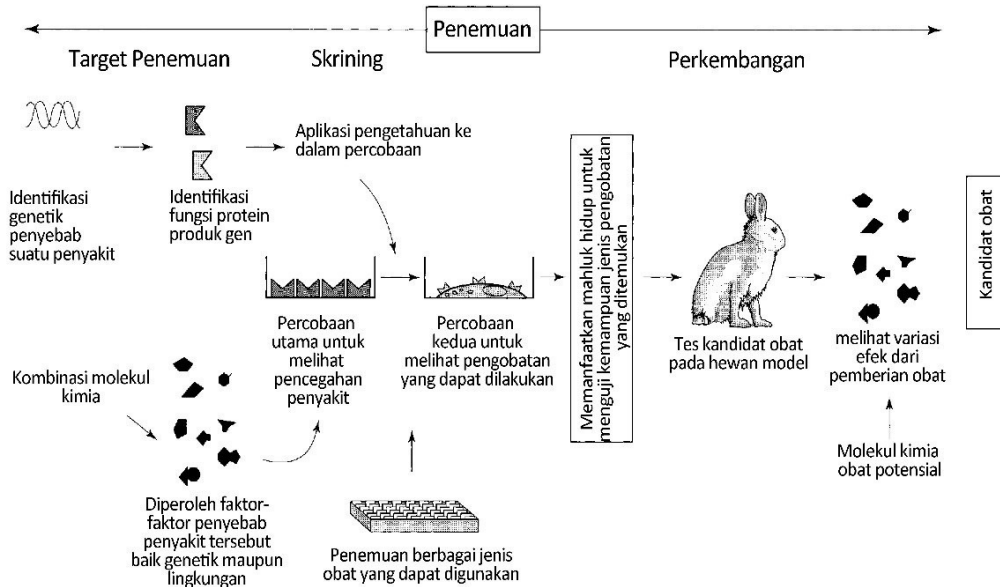
- a. Kecap. Kecap merupakan produk makanan hasil fermentasi menggunakan mikroorganisme *Aspergillus wentii* dengan bahan dasar kedelai.
- b. Tempe. Tempe merupakan produk fermentasi jamur *Rhizopus sp* dengan bahan baku kedelai. Tempe merupakan makanan asli Indonesia dan telah dikenal sejak lama oleh penduduk Indonesia.
- c. Keju. Keju merupakan produk fermentasi laktosa di dalam susu menjadi asam laktat dengan bantuan kanteri asam laktat seperti *Lactobacillus bulgaricus*, *Lactobacillus lactis*, dan *Streptococcus sp*.
- d. Oncom. Oncom merupakan produk fermentasi kacang oleh mikroba *Neurospora sp* dan *Rhizopus sp*.
- e. Yoghurt. Yoghurt merupakan produk fermentasi bahan berupa susu oleh *Lactobacillus bulgaricus* dan *Streptococcus camemberti*.

- f. Minuman beralkohol. Pembuatan minuman beralkohol seperti anggur dan bir menggunakan mikroorganisme dalam proses fermentasinya. Bir dibuat dengan bahan biji-biji sereal seperti gandum dan difermentasi oleh khamir.
- g. Roti. Roti merupakan produk yang dihasilkan dari tepung. Roti membentuk struktur yang lebih menarik, besar, serta lembung dengan bantuan mikroba Khamir *Sacharomyces cerevisiae*. Khamir memanfaatkan glukosa sebagai substrat respirasinya sehingga menghasilkan karbon dioksida yang akan menyebabkan terbentuknya gelembung-gelembung CO<sub>2</sub> yang terperangkap dalam adonan roti sehingga mengakibatkan struktur roti menjadi mengembang.

#### D. Mikroorganisme di bidang bioteknologi farmasi

Mikroorganisme memiliki peran penting dalam perkembangan bioteknologi farmasi (Gambar 122). Diawali dengan diperolehnya antibiotik penisilin, penelitian tentang pemanfaatan mikroorganisme untuk memproduksi agen obat terus berkembang. Saat ini, pemanfaatan mikroorganisme untuk memperoleh agen obat telah banyak yang teridentifikasi. Berikut beberapa peran mikroorganisme dalam bidang bioteknologi farmasi:

- a. Pembuatan Antibiotik. Mikroorganisme dapat menghasilkan metabolit sekunder yang mampu menghambat pertumbuhan mikroorganisme lainnya. Metabolit yang menghambat pertumbuhan mikroorganisme disebut dengan antibiotik. Antibiotik digunakan untuk melawan infeksi mikroba patogen. Beberapa mikroba yang menghasilkan antibiotik antara lain *Streptomyces aureofaciens* (bacitrasin) dan *Aspergillus fumigatus* (fumigilin). Hingga saat ini, sekitar 100 macam antibiotik telah teridentifikasi. Jenis antibiotik yang sudah dikenal diantaranya adalah penicillin, streptomycin, tetrasiklin, aeromisin, kloromisetin, amfisin, dan sefalosporin. Penicillin dihasilkan oleh jamur *Penicillium notatum*. Demikian juga antibiotik streptomycin dihasilkan oleh jamur *Streptomyces griseus*. Sementara itu, antibiotik seperti tetrasiklin dan sefalosporin dihasilkan oleh bakteri.
- b. Pembuatan vaksin. Vaksin dapat digunakan untuk membentuk antibodi dalam tubuh sehingga tahan terhadap serangan bakteri maupun virus patogen.



Gambar 137. Pemanfaatan bioteknologi dalam bidang farmasi (Sumber: Smith, 2009)

## E. Mikroorganisme di bidang bioteknologi energi

Beberapa mikroorganisme mampu menghasilkan senyawa etanol (alkohol) melalui proses fermentasi. Pembuatan alkohol menggunakan bahan baku berupa bahan organik dengan kandungan karbohidrat yang tinggi. Etanol merupakan bahan baku dari gasohol, bahan bakar campuran bensin dengan etanol absolut. Gasohol telah mulai digunakan sejak tahun 2008 untuk mengurangi pemakaian bahan bakar fosil. Sumber energi alternatif lainnya dapat diproduksi menggunakan mikroorganisme adalah biogas. Biogas merupakan gas metana hasil penguraian sampah organik secara anaerob oleh mikroorganisme. Keuntungan penggunaan gas metana dalam bahan bakar adalah mengurangi pencemaran udara.

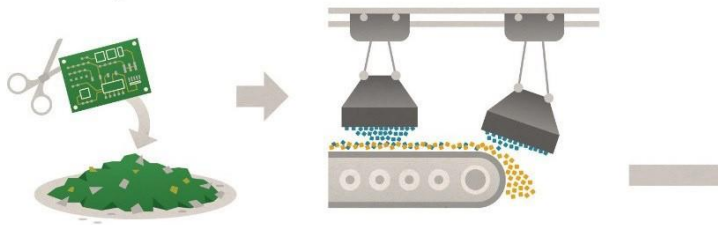
## F. Mikroorganisme di bidang bioteknologi pengolahan bahan tambang

Beberapa bakteri kemosintesis hidup dengan memanfaatkan zat anorganik seperti tembaga, besi, dan belerang. Bakteri kemosintesis mampu membuat senyawa organik menjadi senyawa organik dengan memanfaatkan energi dari

senyawa tersebut. Kemampuan mikroorganisme untuk memisahkan logam dan batuan merupakan bagian dari perkembangan bioteknologi dalam dunia pertambangan mineral. Tembaga, uranium, dan emas secara efisien dapat diekstrak oleh bakteri *Thiobacillus ferrooxidans* dari bijihnya (Gambar 123). Penemuan ini selain dapat meningkatkan mutu logam mineral, juga dapat mengurangi kerusakan lingkungan yang disebabkan oleh aktivitas penambangan.

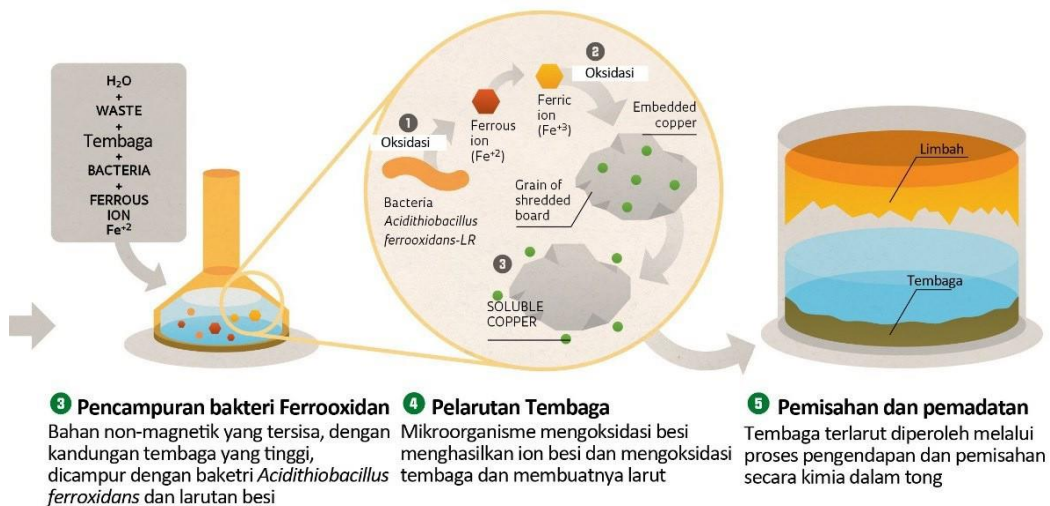
## Isolasi Tembaga

Isolasi tembaga dari papan sirkuit, sisa barang elektronik



**1 Penghancuran papan sirkuit**  
Papan sirkuit bekas dari berbagai peralatan elektronik dihancurkan menggunakan alat penggilingan

**2 Pemisahan menggunakan magnet**  
Partikel papan sirkuit berukuran kecil dipisahkan menggunakan magnet untuk memperoleh logam-logam yang masih dapat digunakan



**3 Pencampuran bakteri Ferrooksidan**  
Bahan non-magnetik yang tersisa, dengan kandungan tembaga yang tinggi, dicampur dengan bakteri *Acidithiobacillus ferrooxidans* dan larutan besi

**4 Pelarutan Tembaga**  
Mikroorganisme mengoksidasi besi menghasilkan ion besi dan mengoksidasi tembaga dan membuatnya larut

**5 Pemisahan dan pematatan**  
Tembaga terlarut diperoleh melalui proses pengendapan dan pemisahan secara kimia dalam tong

Gambar 138. Proses isolasi tembaga dari papan sirkuit sisa barang elektronik

## G. Mikroorganismen di bidang bioteknologi bioremediasi

Bioremediasi merupakan metode penggunaan mikroorganismen dalam upaya mengontrol kerusakan lingkungan oleh bahan tercemar (Gambar 124). Mikroorganismen digunakan untuk mengurai atau mendegradasi bahan pencemar lingkungan menjadi bentuk yang lebih sederhana dan ramah lingkungan. Sejak tahun 1900-an, masyarakat telah menggunakan mikroorganismen untuk mengolah air limbah pada saluran air. Mikroorganismen yang digunakan sebagai agen bioremediasi adalah khamir, fungi, yeast, alga, dan bakteri. Beberapa jenis bakteri yang telah digunakan dalam proses bioremediasi antara lain genus *Achromobacter*, *Arthrobacter*, *Acinetobacter*, *Actinomyces*, *Aeromonas*, *Brevibacterium*, *Flavobacterium*, *Moraxella*, *Klebsiella*, *Xanthomyces*, *Pseudomonas*, dan *Bacillus* yang memiliki kemampuan untuk mendegradasi minyak bumi. Sejumlah bakteri seperti *Pseudomonas aeruginosa*, *Acinetobacter calcoaceticus*, *Arthrobacter sp.*, *Streptomyces viridans* dan lain-lain menghasilkan senyawa biosurfaktan atau bioemulsi.



Gambar 139. Proses bioremediasi limbah minyak menggunakan mikroorganismen (Sumber: Lawrence Berkeley National Lab)

## **D. Rangkuman**

Bioteknologi merupakan cabang ilmu yang memanfaatkan makhluk hidup (bakteri, fungi, virus, dan lain-lain) maupun produk dan makhluk hidup (enzim, alkohol) dalam proses produksi untuk menghasilkan barang dan jasa. Unsur pokok bioteknologi adalah input, proses, dan output. Bioteknologi terbagi menjadi dua macam, yaitu bioteknologi konvensional yang merupakan suatu proses bioteknologi yang mengandalkan jasa mikroba untuk menghasilkan produk yang dibutuhkan manusia melalui proses fermentasi. Bioteknologi konvensional tidak melakukan manipulasi organisme atau rekayasa, tetapi menciptakan kondisi dan bahan makanan yang cocok bagi mikroba untuk berkembang secara optimal, sedangkan bioteknologi modern merupakan penerapan bioteknologi dengan menggunakan alat dan cara kerja yang canggih, dilakukan dalam keadaan bersih dan steril, kualitas produk lebih baik dan kualitas hasil produk yang dibuat lebih banyak. Konsep penggunaan bioteknologi modern lebih menekankan pada bagaimana cara memanipulasi materi genetik mikroorganisme untuk menghasilkan klon yang lebih unggul. Perkembangan bioteknologi sangat dipengaruhi oleh perkembangan ilmu-ilmu dasar, salah satunya seperti perkembangan mikrobiologi, genetika, dan biokimia.



## Penutup

---

Modul belajar mandiri biologi ini disusun untuk membantu guru calon P3K sebagai referensi dalam menyegarkan pengetahuan dan mengembangkan wawasan kebiologian. Materi modul disusun sesuai dengan kompetensi profesional yang harus dicapai guru sesuai dengan tuntutan model kompetensi guru. Diharapkan modul ini dapat dimanfaatkan sebagai salah satu bahan belajar mandiri dan berdiskusi untuk menghadapi seleksi Guru P3K.

Tantangan bagi guru dalam menyiapkan diri menghadapi seleksi P3K adalah keluasan cakupan materi biologi yang perlu dikuasai. Oleh sebab itu guru perlu mencari bahan belajar lainnya untuk memperkaya pengetahuan yang tidak disajikan karena keterbatasan halaman pada modul ini. Hal tersebut juga menjadi motivasi guru agar menggunakan modul sebagai bahan untuk dipelajari dan dikaji lebih lanjut bersama rekan sejawat baik dalam komunitas (misalnya MGMP).

Seleksi guru calon P3K bersifat objektif dan kompetitif. Diperlukan penguasaan substansi materi dalam profesional dengan baik oleh guru agar dapat lolos seleksi. Untuk pencapaian kompetensi yang diharapkan, guru perlu secara aktif menggali informasi, memecahkan masalah, dan berlatih soal-soal evaluasi yang tersedia pada sistem pembelajaran guru calon P3K atau soal-soal latihan lain yang menguji kompetensi profesional biologi.

Capaian yang diharapkan dari penggunaan modul ini adalah terselenggaranya pembelajaran biologi yang optimal dengan didorong oleh motivasi guru untuk menguasai semua konsep dengan sungguh-sungguh. Sehingga berdampak langsung terhadap hasil capaian seleksi Guru P3K. Kami menyadari bahwa modul yang dikembangkan masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena ini saran, kritik, dan usulan demi perbaikan sangat kami harapkan dan dapat pembaca sampaikan kepada tim penulis/kurator melalui surat elektronik (e-mail).



## Daftar Pustaka

---

XXXXXXXXXXXXXXXXXX