

BIOTEKNOLOGI

Sebuah Pembelajaran Terintegrasi
STEM pada Mata Kuliah Bioteknologi
bagi Mahasiswa Calon Guru IPA



P e n y u s u n :

Hasan Subekti

Aris Handriyan

Aris Rudi Purnomo

Fitria Eka Wulandari

Arindra Trisna Widiansyah



BIOTEKNOLOGI

Sebuah Pembelajaran Terintegrasi
STEM pada Mata Kuliah Bioteknologi
bagi Mahasiswa Calon Guru IPA

BIOTEKNOLOGI: SEBUAH PEMBELAJARAN
TERINTEGRASI STEM PADA MATA KULIAH
BIOTEKNOLOGI BAGI MAHASISWA CALON GURU IPA

Penyusun

Hasan Subekti, Aris Handriyan
Aris Rudi Purnomo, Fitria Eka Wulandari
Arindra Trisna Widiansyah

Editor

Prof. Dra. Herawati Susilo, M. Sc. Ph. D.
Dr. Ibrohim, M.Si.
Dr. Hadi Suwono, M.Si.
Dr. Anas Ahmadi, M.Pd.

Desain Sampul & Lay out

Alek Subairi

Penerbit

Graniti

Anggota IKAPI (181/JTI/2017)
Perum. Kota Baru Driyorejo, Jln. Granit Kumala 1/12,
Gresik 61177

website: www.penerbitgraniti.com

fb: Penerbit Graniti

ig: @penerbit_graniti

email: penerbitgraniti@yahoo.com

telp.081357827429/081357827430

Hak cipta dilindungi undang-undang
All rights reserved

Cetakan pertama, Januari 2019

ISBN: 978-602-5811-26-5

Hak cipta dilindungi undang-undang

Dilarang memperbanyak isi buku ini dengan bentuk dan dengan
cara apapun tanpa izin tertulis dari penerbit.

Isi buku di luar tanggung jawab penerbit dan percetakan

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaykum Wr. Wb.

Pembaca yang budiman, buku “Bioteknologi: Sebuah Pembelajaran Terintegrasi STEM pada Mata Kuliah Bioteknologi bagi Mahasiswa Calon Guru IPA” ini merupakan salah satu buku yang diharapkan dapat memberi kemudahan bagi mahasiswa dalam mempelajari Bioteknologi dan dosen dalam mengajar mata kuliah ini. Buku ini dikembangkan bagi mahasiswa calon

guru Ilmu Pengetahuan Alam (IPA) dan juga mempersiapkan mereka untuk berkarir terkait Bioteknologi. Buku ini membahas tren bioteknologi di abad 21, bioteknologi makanan (fermentasi, pertanian, peternakan), bioetika dan bagaimana mengajarkan bioteknologi di Jenjang Sekolah Menengah Pertama (SMP). Buku ini didesain dengan mengintegrasikan konteks Sains, Teknologi, Teknik, dan Matematika atau dikenal dengan STEM.

Pembaca yang budiman, Buku ini disusun menjadi 5 bab dengan tujuan setiap bab sebagai berikut. **Bab I** membahas bioteknologi dalam konteks abad 21, yang mencakup (1) pengertian bioteknologi, (2) bioteknologi konvensional dan modern, (3) bioteknologi sebagai pengetahuan multidisiplin, (4) rekayasa genetika, (5) tantangan bioteknologi dalam abad 21, (6) bioteknologi dan dunia kerja, dan (7) penguatan STEM. **Bab II** membahas bioteknologi fermentasi, yang mencakup (1) pengertian bioteknologi fermentasi, (2) proses-proses fermentasi, (3) mikroorganisme dalam bioteknologi fermentasi, (4) faktor yang memengaruhi fermentasi, (5) peran mikroorganisme dalam proses fermentasi, (6) beberapa aplikasi praktis bioteknologi fermentasi di Indonesia, dan (7) penguatan STEM. **Bab III** membahas bioteknologi pertanian, yang mencakup (1) pengertian bioteknologi pertanian, (2) tantangan dan tren bioteknologi pertanian di Indonesia, (3) metode transgenik pada tumbuhan, (4) aplikasi praktis bioteknologi pertanian, dan (5) penguatan STEM. **Bab IV** membahas bioteknologi peternakan, yang mencakup (1) pengertian bioteknologi peternakan, (2) tantangan dan

tren bioteknologi peternakan di Indonesia, (3) metode bioteknologi pada peternakan, (4) aplikasi praktis bioteknologi peternakan, (5) manfaat bioteknologi peternakan, dan (6) penguatan STEM. **Bab V** membahas bioetika yang mencakup (1) pengantar bioetika, (2) pengertian etika dan bioetika, (3) prinsip-prinsip bioetika, (4) norma dan etika terkait bioteknologi, (5) manfaat bioetika, (6) hewan dan etika riset, (7) penguatan STEM. **Bab VI** membahas bioteknologi dan pembelajarannya yang mencakup (1) urgensi bioteknologi diajarkan di sekolah, (2) bagaimana cara untuk mengajar bioteknologi di jenjang SMP, (3) pembelajaran bioteknologi melalui penyelidikan ilmiah, (4) teknologi informasi sebagai sumber belajar untuk generasi mendatang (5) komunikasi sains sebagai tuntutan, (6) bioteknologi dan pendidikan karakter, dan (7) bioteknologi dan penanaman nilai spiritual.

Paragraf ini, penulis menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya juga kepada Ibu Prof. Dra. Herawati Susilo, M.Sc., Ph.D., (Pembimbing 1), Dr. Ibrohim, M.Si. (Pembimbing 2), dan Dr. Hadi Suwono, M.Si. (Pembimbing 3). Terima kasih juga disampaikan kepada Prof. Dr. Siti Zubaidah, M.Pd. (Ketua Program Studi) beserta Tim Pengajar S3 Pendidikan Biologi UM. Terima kasih kepada para rekan-rekan Mahasiswa S3 pendidikan Biologi UM. Ucapan terima kasih, juga kami sampaikan kepada segenap pimpinan program studi pendidikan sains (Dr. Wahono Widodo, M.Si) yang banyak memberi inspirasi dan para kolega di FIMPA Unesa yang tidak dapat saya sebut satu persatu yang telah memberi

dorongan semangat selama penyusunan buku ini serta teman-teman di program studi.

Kami menyadari masih banyak kekurangan baik materi maupun isi baik kedalaman maupun keluasan materi serta gaya penulisan dan pengutipan materi secara aturan ilmiah. Oleh sebab kekurangan tersebut, kami sangat mengharap koreksi, kritik, dan saran dari para pembaca yang budiman untuk penyempurnaan buku ini. Semoga buku yang sedikit dan kecil ini dapat bermanfaat bagi para Pembaca.

Wassalamu a'laikum Wr. Wb

Malang, Desember 2018

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR..... v

BAB 1

BIOTEKNOLOGI DALAM KONTEKS ABAD 21	1
A. Pengertian Bioteknologi.....	2
B. Bioteknologi Konvensional dan Modern	4
C. Bioteknologi sebagai Pengetahuan Multidisiplin.....	7
D. Rekayasa Genetik.....	9
E. Tantangan Bioteknologi dalam Abad 21	12
F. Bioinformatika sebagai Tren Riset	14
G. Biomatematika sebagai Teknik Analisis	17
H. Bioteknologi dan Dunia Kerja	18
I. Penguatan STEM.....	20
J. Latihan Soal	20

BAB II

BIOTEKNOLOGI FERMENTASI	21
A. Pengertian Bioteknologi Fermentasi.....	22
B. Klasifikasi dan Keunggulan Fermentasi	23
C. Tipe-tipe Fermentasi	23
D. Mikroorganisme dalam Bioteknologi Fermentasi	26

E. Faktor yang Memengaruhi Fermentasi	31
F. Peran Mikroorganisme dalam Proses Fermentasi	33
G. Aplikasi Praktis Bioteknologi Fermentasi	34
H. Penguatan STEM.....	42

BAB III

BIOTEKNOLOGI PERTANIAN.....	43
A. Pengertian Bioteknologi Pertanian	44
B. Tantangan dan Tren Bioteknologi Pertanian di Indonesia	44
C. Metode Transgenik pada Tumbuhan.....	46
D. Aplikasi Praktis Bioteknologi Pertanian	52
E. Penguatan STEM.....	54
F. Latihan Soal	55

BAB IV

BIOTEKNOLOGI PETERNAKAN	57
A. Pengertian Bioteknologi Peternakan	58
B. Tantangan dan Tren Bioteknologi Peternakan di Indonesia	58
C. Penerapan Bioteknologi dalam Bidang Peternakan ..	59
D. Aplikasi Praktis Bioteknologi Peternakan	63
E. Manfaat Bioteknologi Peternakan.....	66

BAB V

BIOETIKA	68
A. Pengantar Bioetika.....	69
B. Perbedaan Tata Nilai, Moral, Etika, dan Bioetika	69
C. Prinsip-prinsip Bioetika	73

D. Manfaat Bioetika	74
E. Hewan dan Etika Riset	75
F. Penguatan STEM.....	77
G. Latihan Soal	79
BAB VI	80
BIOTEKNOLOGI DAN PEMBELAJARANNYA	80
A. Urgensi Bioteknologi Diajarkan di Sekolah	81
B. Bagaimana Cara untuk Mengajar Bioteknologi di Jenjang SMP	82
C. Pembelajaran Bioteknologi Melalui Penyelidikan Ilmiah	82
D. Teknologi Informasi sebagai Sumber Belajar untuk Generasi Mendatang	84
E. Komunikasi Sains sebagai Tuntutan	86
F. Bioteknologi dan Pendidikan Karakter	86
G. Bioteknologi dan Penanaman Nilai Spiritual.....	87
H. Latihan dan Penguatan STEM.....	87
DAFTAR RUJUKAN	88
GLOSARIUM.....	97
INDEX.....	103
BIOGRAFI PENULIS.....	113

BAB 1

BIOTEKNOLOGI DALAM KONTEKS ABAD 21

DESKRIPSI, Bab ini mengingatkan mahasiswa tentang bioteknologi dan dunia kerja.

TUJUAN PEMBELAJARAN, Setelah mempelajari buku ini, mahasiswa diharapkan dapat (1) mendefinisikan bioteknologi; (2) membedakan bioteknologi sederhana dengan bioteknologi modern; (3) memberikan contoh bioteknologi; (4) mendeskripsikan dan tantangan bioteknologi dalam abad 21.



Gambar 1.1 Riset bioteknologi sebagai upaya perbaikan kualitas pangan

Sumber: (Maria & Mihai, 2018)

“Dunia harus memanfaatkan potensi besar dari bioteknologi untuk mengakhiri kelaparan” (Lee, Field, Schmidt, Scritchfield, & Toner, 2013). Bioteknologi merupakan pemanfaatan organisme untuk menghasilkan barang atau jasa yang bermanfaat sebagai upaya memecahkan permasalahan yang dihadapi umat manusia di abad 21 di antaranya melalui rekayasa genetika atau *bioengineering*. Dengan demikian penting dilakukan eksperimen atau riset untuk mengatasi permasalahan pangan dimana salah satunya di visualisasikan pada ambar 1.1.

A. Pengertian Bioteknologi

Bioteknologi telah digunakan untuk meningkatkan nutrisi dalam berbagai makanan untuk mengatasi kekurangan gizi di seluruh dunia (Lee et al., 2013). Bioteknologi seringkali juga dikaitkan dengan penyelamatan lingkungan, sumber energi yang bersih, metode-metode untuk membersihkan kontaminasi lingkungan, begitu pula produk dan proses yang berwawasan lingkungan lebih menonjol dilakukan daripada sebelumnya. Namun tidak semua orang sepakat dengan definisi tersebut, beberapa pihak mencoba mengembangkan definisi sendiri-sendiri.

Bioteknologi didefinisikan sebagai penggunaan organisme hidup, atau zat yang diperoleh dari organisme hidup untuk menghasilkan produk atau proses nilai (jasa) untuk manusia (Crawford, 2018). Pendapat sejenis menyatakan, Bioteknologi adalah penerapan teknologi yang menggunakan sistem-sistem hayati, makhluk hidup atau derivatifnya, untuk membuat atau memodifikasi produk-produk atau proses-proses untuk penggunaan khusus (Menristek, 2009). Sejalan dengan pandangan, Bioteknologi adalah teknologi yang berdasarkan pada biologi (Guilford & Strickland, 2008). Ungkapan sejenis dinyatakan oleh Thieman & Palladino yang menyatakan Bioteknologi adalah ilmu menggunakan organisme hidup atau produk organisme hidup untuk manfaat manusia untuk membuat produk atau memecahkan masalah (Thieman & Palladino, 2013). Definisi lain, bioteknologi ialah penerapan teknologi yang menggunakan sistem-sistem hayati, makhluk hidup atau derivatifnya, untuk membuat atau memodifikasi produk-produk atau proses-proses untuk penggunaan khusus (Menristek, 2009). Definisi

lain, menurut (Ahmad, 2014) menyatakan bioteknologi merupakan penerapan asas-asas sains dan rekayasa untuk pengolahan suatu bahan dengan melibatkan aktivitas jasad hidup untuk menghasilkan barang dan atau jasa. Selaras definisi tersebut, (Sutarno, 2016) mendefinisikan bioteknologi sebagai bidang penerapan biosains dan teknologi yang menyangkut penerapan praktis organisme hidup atau komponen pada industri jasa dan manufaktur serta pengelolaan lingkungan. Merujuk dari beberapa definisi di atas, Bioteknologi adalah penggunaan organisme hidup atau komponen subselulernya untuk menghasilkan barang dan jasa (proses nilai) yang berguna untuk kesejahteraan manusia.

Bioteknologi mengalami perkembangan secara bertahap. Semenjak awal diterapkan atau disebut era bioteknologi nonmikrobiol, di mana pada masa itu belum diketahui bahwa makanan fermentasi merupakan hasil kerja makhluk hidup. Bioteknologi dimensi baru (bioteknologi mikrobiol) dimulai sejak 1957 setelah Louis Pasteur menemukan bahwa fermentasi merupakan akibat kerja mikroorganisme. Secara lebih rinci, garis waktu penemuan dan kemajuan ilmiah dalam bioteknologi disajikan pada tabel 1.1

Tabel 1.1 Garis Waktu Penemuan dan Kemajuan Ilmiah dalam Bioteknologi

Sebelum Era Umum (SM)	
7000 SM	Orang Cina menemukan fermentasi melalui pembuatan bir.
6000 SM	Yogurt dan keju dibuat dengan bakteri penghasil asam laktat oleh berbagai orang.
4000 SM	Orang Mesir memanggang roti beragi menggunakan ragi.
500 SM	Dadiah (<i>moldy</i>) kedelai yang berjamur digunakan sebagai antibiotik.
250 SM	Orang Yunani mempraktikkan rotasi tanaman untuk kesuburan tanah maksimum.

100 SM	Orang Cina menggunakan krisan (<i>chrysanthemum</i>) sebagai insektisida alami.
Sebelum Abad Ke 20	
1663	Deskripsi rekaman pertama dari sel-sel yang sekarat oleh Robert Hooke.
1862	Louis Pasteur menemukan asal bakteri fermentasi.
1869	Friedrich Miescher mengidentifikasi DNA dalam sperma ikan.
1878	Walther Flemming menemukan kromatin yang mengarah pada penemuan kromosom.
Abad ke-20	
1919	Károly Ereky (Hongaria), pertama kali menggunakan kata bioteknologi.
1950	Sintetis Antibiotik pertama dibuat.
1983	Teknik <i>Polymerase Chain Reaction</i> (PCR).
2000	Penyelesaian Proyek Genom Manusia.
Abad ke-21	
2001	<i>Genomics Celera</i> dan <i>Human Genome Project</i> menciptakan rancangan urutan genom manusia.
2002	Padi menjadi tanaman pertama yang genomnya diterjemahkan.
2013	Para peneliti mempublikasikan hasil antarmuka otak manusia-ke-manusia pertama yang berhasil.
2017	Sel induk darah tumbuh di laboratorium untuk pertama kalinya.
2017	Komunikasi dua arah dalam antarmuka mesin otak dicapai untuk pertama kalinya.

Sumber: (Crawford, 2018).

B. Bioteknologi Konvensional dan Modern

Bioteknologi tradisional atau bioteknologi konvensional adalah bioteknologi yang memanfaatkan mikrobia (organisme) untuk memodifikasi bahan dan lingkungan untuk memperoleh produk optimal (Sutarno, 2016). Pendapat lain menyatakan, bioteknologi konvensional adalah bioteknologi yang menggunakan mikroorganisme sebagai alat untuk menghasilkan produk dan jasa

(Zubaidah *et al.*, 2015). Dari definisi tersebut, dapat dikatakan bahwa Bioteknologi konvensional adalah bioteknologi yang mengandalkan jasa dari mikrobia untuk menghasilkan produk baru lain melalui proses fermentasi untuk pemenuhan kebutuhan manusia. Sebagai contoh, nenek moyang kita juga mengambil keuntungan dari mikroorganisme dan digunakan fermentasi untuk membuat tempe, tapai, kecap, keju, yogurt. Selama proses fermentasi, keturunan (*strains*) dari yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) melakukan dekomposisi gula untuk mendapatkan energi, dan proses tersebut menghasilkan etanol. Uraian lebih rinci dibahas pada bioteknologi fermentasi (Bab 2).

Bioteknologi modern adalah penggunaan teknologi dengan memanipulasi DNA dan kode genetik makhluk hidup (Lazaros & Embree, 2016). Bioteknologi modern berkembang pesat setelah genetika molekuler berkembang dengan baik (Sutarno, 2016). Bioteknologi bertumpu pada teknik molekular, sehingga aspek-aspek yang dilakukan dapat dilaksanakan dengan efisien di semua bidang ilmu biologi (Amin, 2015). Sebagai contoh produk Bioteknologi modern adalah protein yang dibuat melalui kloning gen (*gene cloning*) yang disebut *recombinant DNA* (Thieman & Palladino, 2013). Bioteknologi modern dilakukan melalui pemanfaatan keterampilan manusia dalam melakukan manipulasi makhluk hidup agar dapat digunakan untuk menghasilkan produk sesuai yang diinginkan manusia. Perkembangan ini memungkinkan bagi kita untuk mengidentifikasi, mengisolasi, mengalihkan, dan menggunakan gen-gen spesifik yang mengendalikan sifat-sifat individu pada suatu organisme. Sebagai contoh di bidang pertanian, terjadi

kemampuan yang meningkat untuk memperbaiki dan mengendalikan sifat tanaman, pohon, hewan, ikan, dan mikroorganisme yang membantu perbaikan genetik melalui teknik rekayasa genetik.

Teknologi DNA rekombinan merupakan penyebab utama ketenaran bioteknologi (Amin, 2015). DNA rekombinan merupakan teknik untuk menghasilkan molekul DNA yang berisi gen baru yang diinginkan atau kombinasi gen-gen baru atau dapat dikatakan sebagai manipulasi organisme. Biologi modern berkembang pesat setelah genetika molekuler berkembang dengan baik. Dimulai dengan pemahaman tentang struktur DNA pada tahun 1960an dan hingga berkembangnya berbagai teknik molekuler telah menjadikan pemahaman tentang gen menjadi semakin baik. Gen atau yang sering dikenal dengan istilah DNA, merupakan materi genetik yang bertanggung jawab terhadap semua sifat yang dimiliki oleh makhluk hidup (Sutarno, 2016). Beberapa contoh produk Bioteknologi dari hasil rekayasa genetik, antara lain nya dapat dilihat pada **Tabel 1.2** sebagai berikut.

Tabel 1.2 Contoh Produk Bioteknologi Modern

Produk	Kegunaan
Insulin	Mengobati diabetes.
Interferon	Mengobati kanker dan infeksi virus.
Interleukin	Merangsang produksi antibodi pada pasien dengan gangguan sistem kekebalan tubuh.
Antibodi monoklonal	Mengobati kanker dan merangsang produksi antibodi.
Jaringan <i>activator plasminogen</i>	Mendiagnosis dan mengobati penyakit <i>arthritis</i> dan kanker.

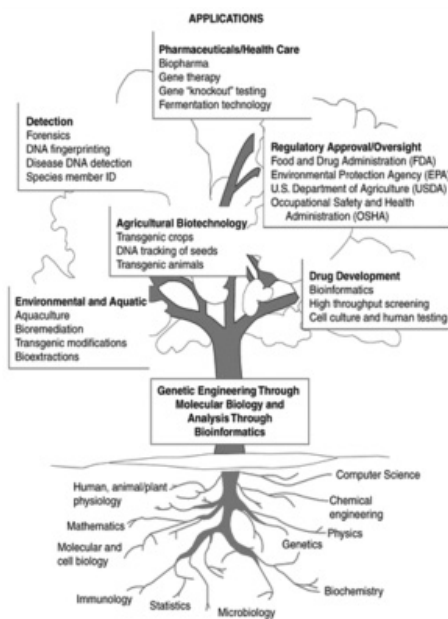
Sumber: (Thieman & Palladino, 2013)

C. Bioteknologi sebagai Pengetahuan Multidisiplin

Sejak penemuan DNA, genetika molekuler dan bioteknologi telah mengalami revolusi dalam kegiatan riset atau penelitian dan aplikasi dalam teknik-teknik yang digunakan (Amin, 2015). Bioteknologi secara luas sebagai pengetahuan multidisiplin, mulai dari modifikasi dan penggunaan sistem biologis untuk menciptakan produk baru di salah satu ujung spektrum, untuk aplikasi teknologi menuju pemecahan masalah biologis di sisi lain (Goh & Sze, 2018). Salah satunya, para peneliti dapat menggunakan DNA penanda untuk mengikuti ciri individu yang menghuni pada lingkungan yang berbeda, peningkatan pemahaman kita terhadap konstitusi genetik dalam populasi, keanekaragaman, dan evolusi dari materi genetik itu sendiri (Amin, 2015).

Bahasan rekayasa genetika atau *bioengineering* bertumpu pada teknik molekuler, sehingga aspek-aspek yang dilakukan dapat dilaksanakan dengan efisien di semua bidang ilmu biologi. Menjadi suatu keharusan bila ilmuwan baik di Fisika, Kimia maupun Ilmu Pengetahuan Alam (IPA) mengembangkan pendekatan molekuler ini karena suatu tuntutan. Selain pusat-pusat informasi yang ada di dunia maya hampir semuanya dengan pendekatan molekuler, pendekatan ini menjadi salah satu solusi hampir di semua bidang yang menyangkut kehidupan masyarakat, bidang peternakan, pertanian, kedokteran, farmasi, forensik (Amin, 2015). Visualisasi bagaimana ilmu dasar dapat difasilitasi dan dijumpai oleh bioinformatika untuk menjadi dasar aplikasi kemanfaatan yang lebih luas disajikan pada **Gambar 1.2**.

Hubungan antara ilmu dasar, bioinformatika, dan penerapan ilmu dapat dijelaskan sebagaimana contoh berikut ini: pada tingkat ilmu dasar (*basic science*), ilmuwan melakukan penelitian dalam wilayah kajian mikrobiologi untuk menemukan gen atau produk gen pada bakteri sebagai agen penyebab penyakit. Guna mengetahui lebih mendalam masing-masing gen diperlukan keterlibatan kajian dari bidang biokimia, biologi



Gambar 1.2: Pohon Ragam Keilmuan Bioteknologi dan Aplikasinya
 Sumber: (Thieman & Palladino, 2013)

molekuler dan genetika. Proses ini juga melibatkan penggunaan ilmu komputer untuk mempelajari urutan gen (*sekuens gen*) dan juga untuk menganalisis struktur protein yang dihasilkan oleh gen ini. Penerapan ilmu komputer untuk mempelajari data-data DNA dan protein telah melahirkan berkembangnya ilmu baru yang dikenal sebagai bioinformatika. Selanjutnya, hasil penelitian dasar yang telah menyediakan dan memberikan pemahaman yang detail gen tersebut, maka gen ini dapat dimanfaatkan dalam berbagai keperluan, misalnya untuk pengembangan obat-obatan, bioteknologi pertanian, aplikasi dalam bidang lingkungan dan sebagainya (Amin, 2015).

D. Rekayasa Genetik

Penggabungan antara teknologi DNA rekombinan dengan bioteknologi melahirkan suatu bidang studi yang sangat dinamis dan kompetitif yang disebut bioteknologi molekuler (Ahmad, 2014). Secara definisi rekayasa genetik atau rekombinan DNA merupakan kumpulan teknik-teknik eksperimental yang memungkinkan peneliti untuk mengisolasi, mengidentifikasi, dan melipatgandakan suatu fragmen dari materi genetika (DNA) dalam bentuk murninya (Sutarno, 2016). Oleh karena itu, penelitian-penelitian secara terus menerus dilakukan dalam rangka menemukan cara baru untuk menggunakan molekul-molekul ini untuk kesejahteraan manusia.

Teknologi Rekayasa Genetik merupakan contoh bioteknologi modern dengan teknik DNA rekombinan (Sutarno, 2016). Dengan kemajuan bioteknologi telah memungkinkan para ilmuwan untuk mengeksplorasi keragaman genetik dunia (Crawford, 2018). Dengan penemuan DNA, genetika molekular dan bioteknologi telah mengalami revolusi di dalam kegiatan riset (penelitian) dan aplikasi dalam teknik-teknik yang digunakan (Mohamad Amin, 2015) sebagai upaya perbaikan dan mempertahankan kualitas dan kuantitas dari suatu produk bioteknologi.

Suatu metode yang sama sekali baru dikembangkan memungkinkan terjadinya pengamatan atau eksperimen yang sebelumnya tidak mungkin dilakukan akhirnya dapat berhasil dirancang dan dilaksanakan. Menurut (Ahmad, 2014) sejak ditemukannya enzim restriksi (enzim yang dapat memotong DNA pada urutan yang spesifik) dan ditemukannya enzim ligase (enzim yang dapat menyambungkan potongan DNA), maka DNA dari organisme

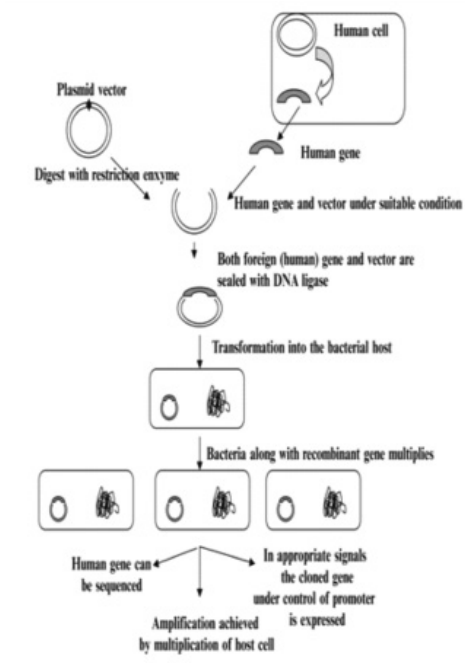
apa saja dapat diisolasi, dipotong-potong, disambungkan kembali dan dipindahkan ke organisme lain. Proses mengkombinasikan beberapa DNA dan memperbanyak DNA rekombinan tersebut di dalam sel disebut kloning. Proses memasukkan DNA ke dalam sel disebut transformasi dan sel yang dihasilkan disebut *transforman*. Agar suatu DNA dapat diperbanyak di dalam sel, maka DNA tersebut harus disisipkan ke dalam suatu plasmid (berfungsi sebagai vektor atau pembawa) yang dapat bereplikasi di dalam sel. Kumpulan sel-sel yang mengandung plasmid rekombinan yang sama disebut sebagai suatu klon.

1. Keunggulan Rekayasa Genetik

Rekayasa genetik berdampak pada upaya perbaikan, keamanan produk, dan pemecahan teknis dalam penyebarluasan pemakaian obat dengan bahan baku yang terbatas (Ahmad, 2014). Beberapa keunggulan rekayasa genetik antara lain, *Pertama* Pemuliaan tanaman dapat dilakukan melalui modifikasi genetik untuk menghasilkan tanaman yang sesuai dengan kriteria yang diinginkan (Arief, 2012), misalnya tanaman yang tahan terhadap penyakit, tahan perubahan lingkungan, dan hasilnya maksimal. *Kedua*, pemindahan materi genetik dari sumber yang sangat beragam dapat dilakukan dengan ketepatan tinggi dan terkontrol dalam waktu yang lebih singkat (Sutarno, 2016). Melalui proses rekayasa genetik ini, telah berhasil dikembangkan berbagai organisme maupun produk yang menguntungkan bagi kehidupan manusia. Ada beberapa hal yang perlu diketengahkan berkait dengan teknologi rekayasa genetik ini, yaitu rekayasa genetik juga berpengaruh pada bidang immunologi, terutama dalam pembuatan antibodi monoklonal, teknologi

fermentasi, teknologi pengolahan limbah, dan bioelektrokimia, teknologi eksplorasi bahan tambang.

2. Teknik Dasar Rekayasa Genetik



Gambar 1.3 Proses teknologi DNA rekombinan. Sumber: (Gupta et al., 2017)

Beberapa teknik yang sering digunakan dalam teknik rekayasa genetik meliputi (1) penggunaan vektor, (2) kloning, (3) *polymerase chain reaction* (PCR), (4) seleksi, *screening*, dan (5) analisis rekombinan (Sutarno, 2016).

Metode-metode ini disebut teknologi DNA rekombinan atau rekayasa genetik yang inti prosesnya adalah kloning gen dan hal ini telah melahirkan jaman kebesaran genetika (Amin, 2015).

Berkembangnya teknologi molekuler maka berkembang pula teknik-teknik untuk memanipulasi muncul teknik rekayasa genetik (*genetic engineering*).

Adapun langkah-langkah dari rekombinasi genetik meliputi (1) identifikasi gen yang diharapkan; (2) pengenalan kode DNA

terhadap gen yang diharapkan; (3) pengaturan ekspresi gen yang sudah direkayasa; dan (4) pemantauan transmisi gen terhadap keturunannya.

3. Manfaat dari Metode Rekayasa Genetik

Biologi molekuler memiliki peran yang sangat penting, tidak hanya sekedar menjawab pertanyaan ilmiah dasar, tetapi juga aplikasinya dalam mengatasi masalah yang dapat mempengaruhi perikehidupan manusia (Pangastuti, Amin, & Endah, 2016). Beberapa manfaat yang didapatkan dari metode rekayasa genetika, di antaranya:(1) mengurangi biaya dan meningkatkan penyediaan sejumlah bahan yang sekarang digunakan di dalam pengobatan, pertanian, dan industri; (2) mengembangkan tanaman atau hewan yang bersifat unggul; (3) menukar gen dari satu organisme kepada organisms lainnya sesuai dengan keinginan manusia, menginduksi sel untuk membuat bahan-bahan yang sebelumnya tidak pernah dibuat (Sutarno, 2016).

E. Tantangan Bioteknologi dalam Abad 21

Abad ini dikenal sebagai abad globalisasi dan abad teknologi informasi. Perubahan yang sangat cepat dan dramatis dalam bidang ini merupakan fakta dalam kehidupan peserta didik di semua jenjang pendidikan. Bioteknologi telah banyak diterapkan dalam berbagai produk sepanjang abad ke-21 (Mohamed, Suryawati, & Osman, 2014). Terkait kepentingan pribadi, sosial, ekonomi dan lingkungan, peserta didik perlu dibekali dengan kompetensi yang memadai agar menjadi peserta aktif dalam masyarakat (Amin, 2015).

Banyak masalah dan tantangan untuk diselesaikan dengan menggunakan bioteknologi, misalnya bagaimana menyembuhkan penyakit yang mengancam kehidupan manusia. Dengan demikian kemampuan untuk lebih memahami proses biologi dan merancang solusi permasalahan masyarakat dengan menggunakan bioteknologi (Thieman & Palladino, 2013). Sejalan dengan pendapat, ketergantungan kita makin terasa kepada negara-negara yang telah maju (misal USA, UK, Japan) saat kita-para ahli bioteknologi biomolekuler dalam melakukan riset (Mohamad Amin, 2015). Peralatan, zat reagen, *software* pendukung analisis semua hampir tergantung kepada mereka. Mengapa mereka bisa seperti itu? Lagi-lagi sistem dan mereka memiliki prediksi jauh ke depan tentang bisnis yang menggiurkan untuk abad 21 yaitu bisnis dalam bidang bioteknologi.

Masyarakat berbasis pengetahuan tersebut, unggulan yang diandalkan anggotanya adalah kemampuan akal, yaitu daya penalaran yang merupakan perpaduan antara apa yang diketahui tentang kebenaran yang berasaskan ilmu pengetahuan, informasi-informasi yang relevan dan pengalaman-pengalaman kebenaran lain yang didapatnya. Daya penalaran untuk menghasilkan ide-ide baru, inovasi-baik untuk jasa maupun produk dan kemampuan merealisasikannya akan menjadi basis dari pertumbuhan ekonomi dan kemakmuran kehidupan masyarakatnya. Kemampuan menghasilkan, menghimpun, mendiseminasikan, dan memanfaatkan ilmu pengetahuan untuk melakukan inovasi berdasar ide-ide baru merupakan basis dari terciptanya unggulan-unggulan baru baik secara *comparative* maupun *competitive* (Amin, 2015). Di dalam abad 21 peran ilmu pengetahuan (*scientific knowledge*) menjadi

semakin dominan dalam bermasyarakat global. Masyarakat yang perkehidupannya bertumpu pada ilmu pengetahuan (*knowledge-based society*) yang perekonomiannya semakin menuju ke ekonomi berbasis pengetahuan (*knowledge-based economy*) melalui kegiatan industri jasa maupun produksi yang berbasis pengetahuan.

Perkembangan pesat teknik informatika (TI) dengan adanya internet, basis data di awan (*cloud*), dan gawai cerdas (*smart gadget*) mengharuskan pengelolaan data yang sangat besar atau '*big data*' dikelola dengan pendekatan dan metode yang tepat juga (Aditya, 2018). Pengembangan kemampuan peserta didik dalam bidang sains merupakan salah satu kunci keberhasilan peningkatan kemampuan dalam menyesuaikan diri dengan perubahan dan memasuki dunia teknologi, termasuk teknologi informasi (Amin, 2015). Salah satu metode yang dikembangkan adalah pendekatan pembelajaran mesin atau *machine learning*, yang memungkinkan prediksi fungsi dan struktur asam nukleat ataupun protein dengan resolusi dan ketepatan sangat baik (Aditya, 2018). Teknik kekinian (*up date*) untuk mengungkap proses alamiah (*in vivo*) yang selama begitu sulit diikuti karena *pathway* (jalan) yang hanya berlangsung singkat dalam hitungan sepersejuta sekon atau proses yang begitu rumit dengan jalur yang panjang, sekarang sudah terjawab dengan dibantu oleh berkembangnya bionformatika.

F. Bioinformatika sebagai Tren Riset

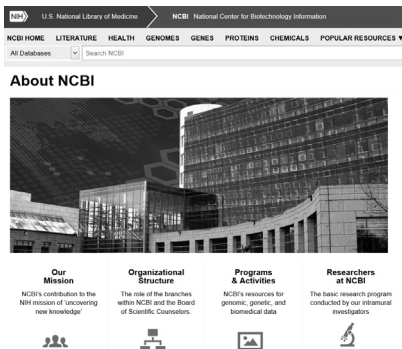
Bioinformatika adalah ilmu yang mempelajari penerapan teknik komputasional untuk mengelola dan menganalisis informasi biologis (Pratiwi, Pratiwi, & Noer, 2017). Selain itu, bioinformatika

didefinisikan sebagai ilmu gabungan antara biologi molekuler dan teknik informatika (Aditya, 2018). Sebagai bagian penelitian, bioinformatika juga didefinisikan sebagai manipulasi dan analisis bervariasi yang dilakukan oleh para peneliti berbasis laboratorium pada set data biologis yang masif berada di ribuan basis data berbasis internet, di mana masing-masing kumpulan data yang berbeda tersebut mempunyai tujuan yang spesifik (Crawford, 2018). Definisi sejenis menyatakan, bioinformatika, merupakan ilmu berbasis multidisipliner yang menggabungkan pendekatan biologi molekuler dan teknik informatika, dapat digunakan dalam manajemen informasi (Aditya, Anurogo, & Arief, 2017). Terkait dengan hal ini, seyogyanya semua yang terlibat di dalam perkembangan ilmu biologi memanfaatkan bioinformatika untuk pengembangan ilmu sebab dapat menjembatani ilmu dasar menjadi ilmu yang teraplikasi di dalam kehidupan, dan hasil penelitian ilmu dasar tidak senantiasa terus di awang-awang.

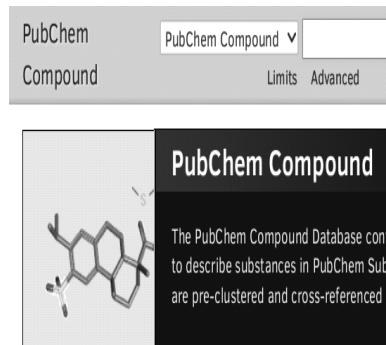
Saat ini, bioinformatika sebagai disiplin ilmu yang sedang berkembang (Amin, 2015). Bioinformatika menjadi faktor intrinsik bagi penelitian ilmu kehidupan, tetapi dalam beberapa dekade terakhir menjadi bidang keahlian yang esensial (Attwood, Blackford, Brazas, Davies, & Victoria, 2017). Spesialisasi bioinformatik merupakan bidang penelitian interdisipliner yang didorong oleh adanya Proyek Genom Manusia atau *Human Genome Project* (Bartlett, Lewis, & Williams, 2016). Bioinformatika dapat juga untuk digunakan dalam manajemen informasi di bidang penyimpanan data *in silico* dari kegiatan eksperimen biologi molekuler (Aditya *et al.*, 2017). Bioinformatika juga sangat membantu analisis bahan alam yang bermanfaat untuk kesehatan dan kesejahteraan manusia.

Saat ini, berkembangnya ilmu bioinformatika merupakan salah satu konsekuensi banyaknya data eksperimen laboratorium para peneliti biologi molekuler (Aditya, 2018). Bioinformatika, basis data biologis, dan penggunaan komputer di seluruh dunia telah mempercepat penelitian biologi di banyak bidang, seperti biologi evolusioner (Ondřej & Dvořák, 2012). Saat ini *National Center for Biotechnology Information* (NCBI), merupakan salah satu basis data genom berbagai organisme yang sudah dapat diakses secara daring pada situs internet: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/genome/>.

Bioinformatika juga sangat membantu analisis bahan alam yang bermanfaat untuk kesehatan dan kesejahteraan manusia. NCBI ini juga dapat digunakan mendapatkan informasi tentang senyawa melalui PubChem (<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/>) yang divisualisasikan pada Gambar 1.4 dan 1.5 sebagai berikut.



Gambar 1.4 Web NCBI



Gambar 1.5 Web pubchem

Kecepatan dan ketepatan dalam penelitian biologi molekuler dapat didukung oleh keberadaan sistem basis data bioinformatika secara daring. Diprediksi, tren penelitian berbasis bioinformatika diperkirakan akan meningkat di Indonesia (Aditya *et al.*, 2017).

Sejalan dengan pandangan tersebut, kunci keberhasilan dalam peri kehidupan masyarakat global berbasis pengetahuan yang semakin kompetitif adalah: (1) kecepatan (*speed*) dalam menanggapi dinamika dan perubahan keperluan masyarakat yang semakin cepat, (2) fleksibilitas (*customization*) dalam memenuhi selera masyarakat yang semakin bervariasi, dan (3) kepercayaan (*trust*) sebagai anggota masyarakat global yang berwatak unggul (Amin, 2015).

G. Biomatematika sebagai Teknik Analisis

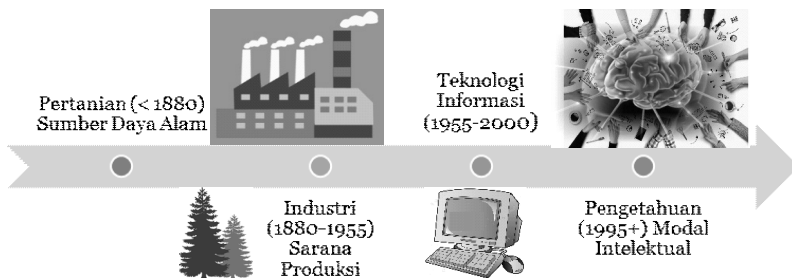
Biomatematika (*biomathematics*) adalah sebuah disiplin yang mengkuantifikasi kejadian biologis menggunakan alat matematika (Crawford, 2018). Biomatematika, aplikasi matematika di bidang biologi, saat ini tengah menjadi fokus dari dunia sains modern (Audi, 2017). Biomatematika terkait dengan dan mungkin menjadi bagian dari disiplin lain termasuk bioinformatika, biofisika, bioteknologi, dan biologi komputasi, karena disiplin ini termasuk penggunaan alat matematika dalam studi biologi (Crawford, 2018). Para ahli biologi telah menggunakan cara berbeda untuk menjelaskan fungsi-fungsi biologis, sering menggunakan kata-kata atau gambar.

Biomatematika adalah bidang yang menerapkan teknik matematika untuk menganalisis dan memodelkan fenomena biologis (Crawford, 2018). Inti dari biomatematika sendiri adalah menggunakan matematika sebagai alat bantu dalam aplikasi biologi. Misalnya pada bidang epidemi, matematika digunakan untuk melakukan pemodelan penyebaran suatu penyakit (Audi, 2017). Biomatematika digunakan dalam berbagai aplikasi mulai dari obat hingga pertanian. Karena teknologi baru mengarah pada

peningkatan jumlah data biologis yang tersedia, biomathematics akan menjadi disiplin yang semakin dibutuhkan untuk membantu menganalisis dan memanfaatkan data secara efektif (Crawford, 2018). Oleh karena itu, pembuatan model membutuhkan ilmuwan untuk membuat beberapa asumsi untuk menyederhanakan proses.

H. Bioteknologi dan Dunia Kerja

Modal intelektual (*intellectual capital*) didefinisikan sebagai aset berwujud dari karyawan, seperti keterampilan, pengetahuan dan pengalaman yang merupakan kunci utama untuk sukses dalam pengetahuan berbasis ekonomi (Amin, 2015). Berdasarkan visualisasi Gambar 1.6. tentang sumberdaya kunci terkait dengan era ekonomi pada saat masyarakat kita bertani tradisional (< 1880), maka sumber daya alam menjadi tumpuan untuk pengembangan keperluan hidupnya. Selanjutnya, didirikanlah pabrik untuk skala industri di abad industri (1880-1955). Era informasi (1955-2000) ditandai dengan perkembangan teknologi semua bidang terutama teknologi informasi dan komputer. Lebih lanjut, agar manusia bisa menghadapi kompetisi global, maka diperlukan kecerdasan berupa “*intellectual capital*” yang telah dimulai setelah era informasi tercapai ($> \pm 1995-2000$).



Gambar 1.6 Sumber Daya Utama menurut Era Ekonomi

Sumber: dimodifikasi dari (Amin, 2015).

Di dalam abad 21 peran ilmu pengetahuan (*scientific knowledge*) menjadi semakin dominan dalam bermasyarakat global (Mohamad Amin, 2015). Hal ini memicu perkembangan teknologi yang begitu pesat mendorong kinerja penelitian menjadi lebih cepat pula (Aditya *et al.*, 2017). Masyarakat yang perikehidupannya bertumpu pada ilmu pengetahuan dikenal sebagai “masyarakat berbasis pengetahuan” (*knowledge-based society*) yang perekonomiannya semakin menuju ke ekonomi berbasis pengetahuan (*knowledge-based economy*), yaitu melalui kegiatan industri jasa maupun produksi yang berbasis pengetahuan (*knowledge-based industry*) (Amin, 2015). Keberhasilan dalam mengembangkan inovasi-inovasi dalam bidang bioteknologi mengantar lahirnya bioteknologi industri.

Beberapa produk yang ditawarkan adalah insulin untuk obat bagi penderita diabetes. Inovasi bioteknologi juga banyak menawarkan obat biologis (seperti enzim, antibodi, faktor pertumbuhan, vaksin, dan hormon) pada saat ini. Banyak perusahaan bioteknologi mencari obat untuk kanker yang merupakan penyebab utama kedua kematian, setelah jantung. Lebih dari 350 produk bioteknologi yang saat ini sebagai obat kanker, diabetes, jantung, penyakit *alzheimer* dan parkinson, arthritis, AIDS, dan penyakit lainnya (Thieman & Palladino, 2013). Dengan demikian, prospek karir dalam bidang bioteknologi menunjukkan kecenderungan yang sangat baik. Bioteknologi menawarkan banyak pilihan pekerjaan, seperti teknisi laboratorium yang terlibat dalam penelitian dasar dan pengembangan, pemrogram komputer, direktur laboratorium, dan penjualan dan tenaga pemasaran.

I. Penguatan STEM

Secara bentuk kelompok, buatlah akun bersama dan carilah referensi dengan menggunakan database online (misalnya: sciencedirect.com, springer.com, tandfonline.com, researchgate.net, elsevier.com, <https://www.library.unisa.edu.au/> dan id.portalgaruda.org, dll). Setelah itu identifikasilah Tipe Referensi antara lain nya: buku, bab dari buku, prosiding, ensiklopedia, artikel dalam jurnal, artikel dalam majalah, artikel dalam koran, paten, laporan, undang-undang, tesis, halaman web, siaran televisi, film, bukti pembayaran, kasus (Mendeley), blog, gambar atau tabel, kamus, web, paten, peta. Untuk memudahkan hasil kerjamu, masukkan pada *managemen reference* (*mendeley, endnote, atau zotero*)

J. Latihan Soal

1. Tuliskan pengertian bioteknologi dengan menggunakan kata-kata Anda sendiri!
2. Jelaskan bioteknologi sebagai pengetahuan multidisiplin!
3. Tuliskan 3 perbedaan bioteknologi konvensional dan modern!
4. Berikan penjelasan tentang keunggulan rekayasa genetika!
5. Bagaimana strategi menyikapi tantangan tentang bioteknologi dan dunia usaha, menurut Anda?

BAB II

BIOTEKNOLOGI FERMENTASI

DESKRIPSI, Bab ini mengingatkan mahasiswa tentang bioteknologi fermentasi.

TUJUAN PEMBELAJARAN, Setelah mempelajari buku ini, mahasiswa diharapkan dapat (1) mendefinisikan bioteknologi fermentasi; (2) memberikan contoh penerapan bioteknologi fermentasi; (3) menjelaskan faktor-faktor yang memengaruhi fermentasi; dan (4) mengaplikasikan bioteknologi fermentasi terintegrasi STEM.



Fermentasi adalah proses yang melibatkan mikroba untuk menghasilkan produk makanan dan minuman termasuk roti, bir, anggur, sampanye, yogurt, dan keju.

Gambar 2.1 Pembuatan bir adalah aplikasi awal bioteknologi.
Sumber: (Crawford, 2018).

A. Pengertian Bioteknologi Fermentasi

Fermentasi, dari kata Latin “*fervere*”, didefinisikan oleh Louis Pasteur sebagai “*La vie sans ‘air’*” yang artinya hidup tanpa udara (Crawford, 2018). Fermentasi merupakan salah satu proses penting yang berkontribusi pada kebutuhan nutrisi pada jutaan manusia (Cobo *et al.*, 2016). Dari sudut pandang biokimia, fermentasi adalah proses ametabolik untuk menurunkan energi dari senyawa organik tanpa keterlibatan agen pengoksidasi eksogen (Crawford, 2018). Definisi lain menyatakan fermentasi adalah proses mikroba yang penting yang menghasilkan produk makanan dan minuman termasuk roti, bir, anggur, sampanye, *yogurt*, dan keju (Thieman & Palladino, 2013). Proses fermentasi tidak mengkonsumsi oksigen, maka ekstrapolasi oleh beberapa orang bahwa fermentasi harus terjadi di lingkungan yang bebas oksigen (Godbey, 2014). Salah satu aplikasi mikroorganisme paling awal dalam fermentasi adalah dalam proses pembuatan bir dan anggur, yang melibatkan khamir. Fermentasi adalah penguraian metabolik senyawa organik oleh mikroorganisme yang menghasilkan energi yang pada umumnya berlangsung dengan kondisi anaerobik dan dengan pembebasan gas (dalam KBBI).

Bioteknologi fermentasi fokus bahasannya yaitu proses fermentasi itu sendiri. Proses fermentasi dilakukan oleh sel untuk mengekstrak energi dari bahan awal seperti glukosa (Godbey, 2014). Banyak mikroba yang hidup pada keadaan oksigen yang sedikit, seperti dalam usus hewan, air yang dalam, dalam tanah. Mikroba seperti ini memperoleh energi tanpa oksigen (*anaerob*). Proses ini adalah fermentasi. Fermentasi mirip glikolisis dalam hal penggunaan melibatkan *Nikotinamida Adenin Dinucleotida* (NAD^+)

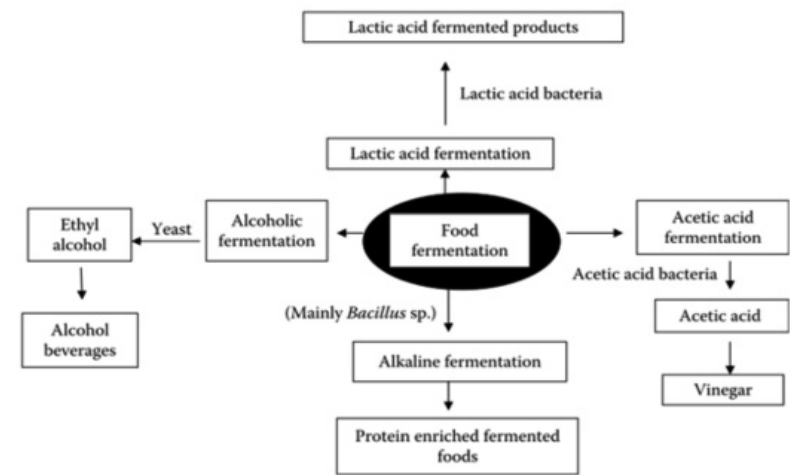
dalam menghasilkan NADH dan asam piruvat. Dalam respirasi aerob, oksigen diperlukan sebagai akseptor elektron dari NADH untuk membentuk molekul air. Dalam jalur glikolisis, setelah terbentuk asam *piruvat*, maka akan membentuk ATP melalui daur krebs (Thieman & Palladino, 2013)

B. Klasifikasi dan Keunggulan Fermentasi

Fermentasi makanan telah diklasifikasikan dalam beberapa cara seperti (1) minuman beralkohol yang difermentasi oleh ragi; (2) cuka difermentasi dengan *Acetobacter*; (3) susu yang difermentasi dengan *lactobacilli*; (4) acar/cuka yang difermentasi dengan *lactobacilli*; (5) ikan atau daging yang difermentasi dengan *lactobacilli*; dan (6) protein nabati yang difermentasi dengan kapang dan ragi (Cobo *et al.*, 2016). Beberapa keunggulan proses fermentasi, antara lain nya (1) dihasilkan energi; (2) tidak memerlukan oksigen; (3) Rasio NADH / NAD + tidak berubah oleh proses; dan (4) Rasio hidrogen terhadap karbon tidak berubah antara reaktan dan produk (Godbey, 2014).

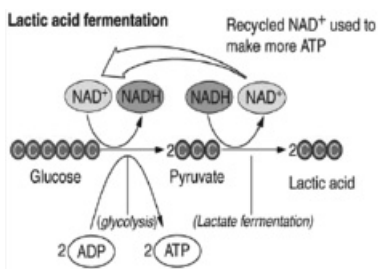
C. Tipe-tipe Fermentasi

Tipe-tipe fermentasi yang paling umum adalah (1) fermentasi asam laktat, (2) fermentasi alkohol, (3) fermentasi ragi roti, (4) asam cuka, dan (5) fermentasi alkali. Visualisasi tipe-tipe fermentasi berdasar produk dan jenis mikroorganisme digambarkan pada **Gambar 2.2.**



Gambar 2.2: Tipe Fermentasi
 Sumber: (Cobo et al., 2016).

Fermentasi asam laktat (*lactic acid fermentation*), ketika bakteri asam laktat hadir dalam substrat seperti susu, akan memfermentasi laktosa dalam susu menjadi asam laktat, menghasilkan makanan fermentasi asli yang disebut *dadih*. Makanan nabati

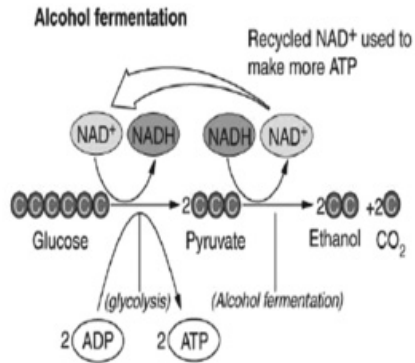


Gambar 2.3: Proses Fermentasi Asam laktat. Sumber: Thieman & Palladino, (2013)

dan campuran sayur / ikan / udang juga difermentasi oleh bakteri asam laktat, dan telah disajikan sebelumnya di seluruh dunia oleh fermentasi asam laktat. (Cobo et al., 2016). Dalam fermentasi asam laktat, elektron dari NADH mengubah asam piruvat menjadi etanol. NAD⁺ memperbarui elektron tergeser NADH dan diubah menjadi

pyruvate untuk menjadi *lactate* atau *ethanol* sebagai tahap akhir dari proses fermentasi (Thieman & Palladino, 2013). Proses fermentasi dapat dilihat pada Gambar 2.3 berikut ini.

Fermentasi alkohol (*alcoholic fermentations*) adalah salah satu proses terpenting dan tertua, yang melibatkan produksi etanol dan karbon dioksida. Proses ini menghasilkan produksi berbagai minuman, seperti anggur, bir, dan minuman keras. Pembuatan bir dari anggur, banyak proses yang digunakan, manun tergantung



Gambar 2.4 Proses Fermentasi Alkohol. Sumber: Thieman & Palladino, (2013)

pada galur khamir seperti *Sacharomyces cerevisiae* (Cobo *et al.*, 2016). Cara yang sering digunakan dalam fermentasi alkohol adalah mengubah gula dari buah anggur menjadi alkohol dengan memanipulasi tingkat fermentasi (Thieman & Palladino, 2013). Hal ini dilakukan pembuat anggur untuk mengontrol kadar alkohol agar aroma yang diinginkan tercapai

Fermentasi ragi roti (*leavened bread fermentation*) juga dibuat dari ragi melalui fermentasi alkohol, dan etanol merupakan produk samping atau produk minor dalam pembuatan roti karena waktu fermentasi yang relatif singkat. Karbon dioksida yang dihasilkan oleh ragi meninggalkan roti, menghasilkan kondisi anaerob, dan memanggang menghasilkan permukaan kering yang tahan

terhadap invasi oleh mikroorganisme di lingkungan (Cobo *et al.*, 2016). Biasanya, ragi yang digunakan proses fermentasi adonan gandum dan tepung ragi dengan ragi, umumnya menggunakan *Saccharomyces cerevisiae*

Fermentasi cuka (*vinegar fermentation*) adalah fermentasi yang melibatkan produksi asam asetat yang menghasilkan makanan atau bumbu yang umumnya dianggap aman, karena asam asetat bersifat bakteristatik atau bakterisida, tergantung pada konsentrasi yang digunakan. Ketika produk fermentasi beralkohol tidak disimpan secara anaerob, bakteri yang termasuk dalam genus *Acetobacter* yang ada di lingkungan mengoksidasi bagian etanol menjadi asam asetat atau cuka (Cobo *et al.*, 2016). Cuka adalah bumbu yang dapat diterima yang digunakan dalam pengawetan dan pengawetan mentimun dan sayuran lainnya

Makanan fermentasi yang melibatkan fermentasi basa (*alkaline fermentation*) umumnya dianggap aman. Fermentasi basa adalah proses di mana pH substrat meningkat hingga nilai basa setinggi 9 karena hidrolisis enzimatis dari protein dari bahan mentah menjadi peptida, asam amino, dan amoniak atau karena perlakuan alkali selama produksi (Cobo *et al.*, 2016).

D. Mikroorganisme dalam Bioteknologi Fermentasi

Mikroorganisme memiliki peran penting dalam menentukan karakteristik makanan dan minuman etnis yang diproduksi (Balía & Utama, 2017). Banyak mikroorganisme yang telah dimanfaatkan untuk produk fermentasi (Tabel 2.1). Mikroorganisme yang digunakan dalam fermentasi pangan secara tradisional pada

umumnya merupakan kultur campuran yang diperoleh dari bahan baku ataupun lingkungan dan sering tidak teridentifikasi. Industri-industri fermentasi yang telah maju, mulai digunakan kultur mikrobial hasil penelitian untuk menunjang penjaminan mutu produknya. Mikrobial yang sering digunakan dalam fermentasi adalah bakteri, khamir, dan jamur. Bakteri banyak digunakan dalam fermentasi pangan dalam bentuk cair, misalnya bakteri untuk pembuatan asam asetat dan *nata de coco*. Namun ada pula khamir pada medium padat, misalnya pada proses pembuatan bir dan wine, dan tempe atau produksi jamur itu sendiri.

Tabel 2.1: Contoh Produk Fermentasi dan Mikrobial yang Menghasilkannya

Jenis	Mikrobial	Produk	Bahan Dasar
Bakteri	<i>Acetobacter xylinum</i> <i>Acetobacter acetii</i> <i>Lactobacillus</i> sp	<i>Nata de Coco</i> Asam asetat Asam laktat	Air kelapa Air susu
Khamir (Yeast)	<i>Saccharomyces cerevisiae</i> <i>Saccharomyces roxii</i> <i>Hanseniaspora uvarum</i>	Tapai Kecap Wine (alkohol)	Karbohidrat Kedelai Karbohidrat
Jamur	<i>Rhizopus oryzae</i> <i>Neurospora sitophila</i> <i>Monascus purpureus</i>	Tempe Oncom Angkak	Kedelai Kedelai Beras

Sumber: (Hidayat, Masdiana, & Sri, 2006)

1. Bakteri

Bakteri merupakan mikrobial uniseluler. Kecenderungan bakteri tidak mempunyai khlorofil. Ada beberapa yang fotosintetik dan reproduksi aseksualnya secara pembelahan. Bakteri tersebar

luas di alam, di dalam tanah, di atmosfer, di dalam endapan-endapan lumpur, di dalam lumpur laut, dalam air, pada sumber air panas, di daerah antartika, dalam tubuh hewan, manusia, dan tanaman. Jumlah bakteri tergantung keadaan sekitar. Misalnya, jumlah bakteri di dalam tanah tergantung jenis dan tingkat kesuburan tanah.

Ada berbagai macam bakteri yang penting dalam fermentasi, yang antara lain adalah sebagai berikut (Hidayat *et al.*, 2006).

- a. *Acetobacter xylinum*. Bakteri ini digunakan dalam pembuatan *nata de coco*. Bakteri *Acetobacter xylinum* mampu mensintesis selulosa dari gula yang dikonsumsi. Nata yang dihasilkan berupa substrat yang mengambang di permukaan.
- b. *Acetobacter acetii*. Bakteri ini penting dalam produksi asam asetat, yang mengoksidasi alkohol sehingga menjadi asam asetat. Banyak terdapat pada ragi tapai, yang menyebabkan Tapai yang melewati 2 hari fermentasi akan berasa masam.
- c. *Bacillus sp.* Mikrobial dari genus *Bacillus* ini merupakan bakteri dengan kemampuan yang paling luas. Pada mulanya hanya digunakan untuk menghasilkan enzim amilase. Namun perkembangan terkini berkembang untuk bioinsektisida yang diwakili oleh *Bacillus thuringiensis* maupun untuk penanganan limbah seperti *Bacillus subtilis* dan *Bacillus megaterium*. Melalui rekayasa genetika, kini bakteri ini juga digunakan untuk produksi bahan baku plastik ramah lingkungan.
- d. *Bifidobacterium sp.* Bakteri ini bersifat anaerob dan digunakan sebagai mikrobial probiotik. Produk probiotik dari bakteri ini biasanya berbentuk padat.

- e. *Lactobacillus* sp. Bakteri ini cukup populer karena selain dapat digunakan dalam produksi asam laktat juga banyak berperan dalam fermentasi pangan seperti *yogurt*.

2. Khamir

Molds (khamir) yang memainkan peran paling penting dalam fermentasi termasuk genera *Rhizopus* milik keluarga Mucoraceae, dari ordo Mucorales, dalam subkelas Zygomycota dari kelas Zygomycetes (Anggriawan, 2017). Umumnya digunakan untuk menyebut bentuk-bentuk yang menyerupai jamur dari kelompok *Ascomycetes* yang tidak berfilamen tetapi uniseluler dengan bentuk ovoid atau spheroid. Khamir ada yang bermanfaat dan ada pula yang membahayakan manusia (Hidayat *et al.*, 2006). Molds (khamir) yang memainkan peran paling penting dalam fermentasi termasuk genera *Rhizopus* milik keluarga Mucoraceae, dari ordo Mucorales, dalam subkelas Zygomycota dari kelas Zygomycetes (Anggriawan, 2017).

Fermentasi khamir banyak digunakan dalam pembuatan roti, bir, *wine*, dan sebagainya. Khamir yang tidak diinginkan adalah yang ada pada makanan dan menyebabkan kerusakan pada saurkraut, *juice* buah, sirup, *molase*, madu, *jelly*, daging, dan sebagainya. Ada berbagai khamir yang memiliki fungsi penting dalam fermentasi, di antaranya adalah sebagai berikut (Hidayat *et al.*, 2006).

a. *Saccharomyces cerevisiae*, merupakan khamir yang paling populer dalam pengolahan makanan. Khamir ini telah lama digunakan dalam industri *wine* dan bir. Dalam bidang pangan, khamir digunakan dalam pengembangan adonan roti dan dikenal sebagai ragi roti.

- b. *Saccharomyces roxii*, adalah khamir yang digunakan dalam pembuatan kecap. Bakteri *Saccharomyces roxii* berkontribusi pada pembentukan aroma.

3. Jamur

Jamur telah digunakan sebagai bahan makanan dan penyedap makanan selama berabad-abad karena nilai gizi dan obat mereka dan keragaman komponen bioaktif mereka (Bao *et al.*, 2013). Jamur merupakan mikrobia multiseluler yang banyak dimanfaatkan manusia dalam fermentasi maupun budidaya. Dalam bidang fermentasi umumnya yang digunakan adalah jamur berbentuk hifa dan dikenal dengan sebutan jamur. Contohnya pada pembuatan tempe, angkak dan kecap. Sedang yang dibudidayakan untuk diambil badan buahnya dikenal sebagai cendawan, misalnya jamur tiram, jamur merang, jamur kuping dan sebagainya. Ada beberapa jenis jamur yang memiliki kedudukan penting dalam fermentasi, antara lain sebagai berikut (Hidayat *et al.*, 2006).

- a. *Rhizopus oryzae*. Jamur ini penting pada pembuatan tempe. Aktivitas jamur *Rhizopus* menjadikan nutrisi pada tempe siap dikonsumsi manusia. Aktivitas enzim yang dihasilkan menjadikan protein terlarut meningkat. Produk tempe kini juga telah dikembangkan menjadi produk isoflavon yang penting bagi kesehatan.
- b. *Aspergillus niger*. Jamur ini digunakan dalam pembuatan asam sitrat. Asam sitrat merupakan salah satu asam organik yang banyak digunakan dalam bidang pangan, misalnya pada pembuatan permen dan minuman kemasan. Jamur ini sering mengontaminasi makanan, misalnya roti tawar.

- c. *Neurospora sitophila*. Jamur ini merupakan sumber beta karoten pada fermentasi tradisional. Produk oncom yang dikenal di Jawa Barat adalah hasil fermentasi yang dilakukan oleh *Neurospora sitophila*. Produksi spora untuk sumber beta karoten yang dapat disubstitusikan pada makanan juga telah diteliti. Selain mampu memberikan asupan, beta karoten juga merupakan sumber warna yang cukup menarik.
- d. *Penicillium sp.* Jamur ini paling terkenal karena kemampuannya menghasilkan antibiotika yang disebut penisilin. Sejak pertama kali dikenal terus digunakan sampai sekarang. Jamur penghasil antibiotika saat ini telah banyak diketahui sehingga ragam antibiotik yang semakin banyak. Selain untuk pembuatan antibiotika, spesies yang lain juga digunakan dalam pembuatan keju khusus.

E. Faktor yang Memengaruhi Fermentasi

Fermentasi adalah metode yang paling ekonomis untuk menghasilkan dan mengawetkan makanan (Cobo *et al.*, 2016). Beberapa faktor yang memengaruhi fermentasi adalah (1) batasan nutrisi; (2) senyawa anti mikrobia; (3) racun pembunuh; (4) suhu, pH, oksigen dan dampak media kultur; dan (5) toleransi terhadap etanol (Satyanarayana & Kunze, 2009).

1. Batasan Nutrisi

Dua *macronutrients* seringkali tersirat dalam penyebab fermentasi terjebak ketika hadir dalam jumlah kecil nitrogen dan fosfat. Mikronutrien kurang vitamin dan mineral telah terbukti untuk membatasi kecepatan fermentasi. Kekurangan tiamin

dapat memperlambat fermentasi. Konsentrasi etanol yang tinggi menghambat translokasi asam amino dan sumber nitrogen lainnya, sehingga nitrogen harus tersedia pada tahap pertama fermentasi dan disimpan di dalam vakuola untuk digunakan nanti (Satyanarayana & Kunze, 2009). Selain itu, penambahan asam amino tertentu dapat meningkatkan kemampuan untuk cepat sintesis protein terdegradasi sebagai transporter glukosa

2. Senyawa Antimikrobia

Kebutuhan nutrisi ragi selama fermentasi dapat dipengaruhi oleh zat penghambatan yang hadir di media. Senyawa ini termasuk racun pembunuh, pengawet kimia (terutama sulfat) dan bahan kimia pertanian yang mengandung logam berat (Satyanarayana & Kunze, 2009). Pengawet kimia dapat memengaruhi aktivitas mikroba yang menyebabkan kenaikan dalam fase laten

3. Racun Pembunuh

Kegiatan pembunuh pertama kali dilaporkan pada strain *Saccharomyces cerevisiae*. Sejak itu, pembunuh karakteristik telah terdeteksi di genera ragi lain seperti *Pichia*, *Hansenula*, *Williopsis* dan *Kluyveromyces* (Satyanarayana & Kunze, 2009). Pembunuh strains yeast menghasilkan protein ekstraseluler atau glikoprotein (faktor pembunuh) yang membunuh ragi sensitif lainnya

4. Suhu, pH, Oksigen dan Dampak Media Kultur

Pertumbuhan dari ragi selain *Saccharomyces* tergantung pada kondisi fermentasi seperti: suhu, konsentrasi etanol, konsentrasi

substrat dan pH. Beberapa studi yang dilakukan di anggur dan sari menunjukkan bahwa pertumbuhan *Kloeckera apiculata* dan *Saccharomyces cerevisiae* adalah hasil fermentasi optimal pada suhu di bawah 20 °C. Hal ini memungkinkan *Kloeckera apiculata* untuk menang bersama-sama dengan *Saccharomyces cerevisiae* selama fermentasi (Satyanarayana & Kunze, 2009). Situasi ini dapat mengubah komposisi kimia dari anggur, karena senyawa aromatik tergantung terutama pada ragi dan suhu fermentasi

5. Toleransi terhadap Etanol

Beberapa penelitian telah melaporkan peran membran plasmatik dalam toleransi etanol dari *Saccharomyces cerevisiae*. Toleransi yang tinggi untuk etanol sehingga berkorelasi nyata dengan tingkat kejenuhan asam lemak dan fluiditas membran (Satyanarayana & Kunze, 2009).

F. Peran Mikroorganisme dalam Proses Fermentasi

Teknologi fermentasi sebagian besar merupakan teknologi yang menggunakan mikroorganisme untuk produksi makanan dan minuman seperti keju, *yogurt*, minuman alkohol, cuka, acar, sosis, kecap, dan lain-lain. Terkait teknologi fermentasi, mikroorganisme berperan dan produk yang dihasilkan disajikan sebagai berikut (Nurchahyo, 2011).

1. *Metabolit primer* penting tertentu dalam skala yang lebih besar seperti gliserol, asam asetat, asam laktat, aseton, butanol dan butanadiol, serta berbagai asam organik, asam amino, vitamin, dan polisakarida.

2. *Metabolit sekunder* yang berguna (kelompok metabolit yang tidak memainkan peranan langsung dalam kehidupan mikroorganismenya) seperti penisilin, streptomisin, oksitetrasiklin, sefalosporin, gibberelin, alkaloid dan aktinomisin.
3. Enzim dalam skala industri, seperti enzim *interseleuler-invertase*, *asparaginase*, dan DNA ligase.

G. Aplikasi Praktis Bioteknologi Fermentasi

Fermentasi adalah salah satu proses “bioteknologi pangan” tertua yang digunakan untuk menyiapkan makanan dan minuman yang dicatat dalam sejarah manusia purba (Cobo *et al.*, 2016). Indonesia memiliki beberapa makanan fermentasi tradisional, dimana proses pembuatannya sangat tergantung pada mikroorganismenya yang secara alami ada dalam bahan mentah dan di lingkungan (Redi, 2010). Indonesia memiliki keanekaragaman besar makanan dan minuman yang difermentasi etnis (Balita & Utama, 2017). Selain tempe, ada banyak produk etnik fermentasi terkenal di Indonesia, beberapa di antaranya adalah tempe, tapai, alkohol, kecap, yoghurt, nata, dan kombucha. Uraian lebih terperinci disajikan sebagai berikut.

1. Fermentasi Tempe

Tempe adalah makanan populer di Indonesia yang disiapkan dengan memfermentasi kedelai (Anggriawan, 2017). Kata tempe diperkirakan berasal di Jawa Tengah, di Indonesia (Shurtleff & Aoyagi, 2011). Catatan sejarah mengungkapkan tempe berasal dari bahasa Jawa kuno seperti yang disebutkan dalam Serat Centhini vol. 3 (1814), menggambarkan tempe sebagai menu kerajaan Sunan Giri yang disajikan di Jawa selama abad ke-17 (Anggriawan, 2017).



Gambar 2.5 Tempeh
Sumber: (Shurtleff & Aoyagi, 2011)

Tempe adalah makanan tradisional dari Indonesia yang dibuat dengan memfermentasi kedelai dengan jamur *Rhizopus* spp (Anggriawan, 2017). Tempe adalah makanan tradisional khas Indonesia yang sering dikonsumsi dan menjadi salah satu makanan favorit (Zubaidah *et al.*, 2015). Di antara ragam makanan terfermentasi jamur, tempe dari kedelai yang difermentasi mengandung nilai gizi yang tinggi (Anggriawan, 2017). Tempe biasanya diproduksi secara tradisional dan diproduksi di industri rumahan di Indonesia

Tempe bermanfaat, dibandingkan dengan makanan sehat lainnya (Anggriawan, 2017). Fermentasi dilakukan dengan menumbuhkan jamur *Rhizopus oryzae* dan *Rhizopus oligosporus* pada biji kedelai. Pada proses pertumbuhan, jamur akan menghasilkan benang-benang yang disebut dengan hifa. Benang-benang itu mengakibatkan biji-bijian kedelai saling terikat dan membentuk struktur yang

kompak (Zubaidah *et al.*, 2015). Pengujian yang dilakukan meliputi pengamatan kekompakan, tekstur, pH, warna, dan kandungan protein dan determinan asam amino (Anggriawan, 2017).

2. Fermentasi Tapai

Salah satu contoh produk pangan bioteknologi konvensional adalah tapai. Tapai biasanya singkong (*Manihot utilisima*) atau ketan (*Oryza sativa glutinosa*) yang difermentasi dengan penambahan starter campuran kering yang disebut ragi tapai yang secara alami mengandung jamur berfilamen, ragi dan



Gambar 2.6 Tapai

Sumber: (Gupta *et al.*, 2017)

bakteri (Balía & Utama, 2017). Tapai adalah makanan fermentasi tradisional dari Indonesia dengan rasa asam manis asam khas (Rahayu, Yogeswara, Utami, & Suparmo, 2011). Tapai dibuat dengan memanfaatkan mikroorganisme yang ada pada ragi. Mikroorganisme ini akan mengubah zat organik menjadi zat organik lain Inokulum yang digunakan untuk fermentasi Tapai dinamai ragi, didominasi oleh ragi (*Saccharomyces cerevisiae*), jamur amilolitik, bakteri asam laktat dan bakteri asam asetat (Rahayu *et al.*, 2011). Proses pemberian ragi atau pencampurannya, saat singkong tersebut sudah relatif dingin (suhu ruang). Tapai sebagai produk makanan

cepat rusak karena fermentasi lanjut setelah kondisi optimum tercapai, sehingga harus segera dikonsumsi. Namun jika disimpan di tempat yang dingin akan dapat bertahan lebih lama. Proses fermentasi dalam pembuatan Tapai cenderung berlangsung dalam suasana mikroaerob. Artinya, memerlukan sedikit oksigen. Oleh karena itu selama proses fermentasi, wadah harus ditutup untuk mencegah terjadinya kontaminasi. Tapai yang terbentuk selanjutnya dapat diolah lebih lanjut menjadi beberapa macam produk olahan. Mulai dari digoreng, dikolak, campuran kue, dibuat tepung, sirup, brem, dan anggur Tapai.

3. Fermentasi Alkohol

Pembuatan minuman beralkohol merupakan proses fermentasi dengan bantuan jamur *Aspergillus oryzae*, Jamur *Aspergillus oryzae* akan menghasilkan enzim amilase yang dapat menguraikan amilum menjadi glukosa atau gula (Zubaidah *et al.*, 2015). Anggur mungkin merupakan produk fermentasi tertua yang diketahui, dan jejak kunonya setidaknya 5000 bc (Cobo *et al.*, 2016). Bioteknologi pangan juga banyak dimanfaatkan dalam pembuatan minuman beralkohol. Selanjutnya, gula akan difermentasikan lanjut menjadi alkohol dan



Gambar 2.7 Alkohol

Sumber: (Gupta, Sengupta, Prakash, & Charan, 2017)

gas karbondioksida. Proses tersebut kemudian akan menghasilkan minuman beralkohol dengan cita rasa tertentu sesuai dengan bahan baku yang digunakan (Zubaidah *et al.*, 2015). Lamanya proses pembuatan *wine* dengan memanfaatkan *Saccharomyces cerevisiae* fermentasi akan memengaruhi jumlah dan kadar alkohol yang dihasilkan. Proses fermentasi, semakin tinggi kandungan alkoholnya.

4. Fermentasi Kecap

Kecap merupakan salah satu produk hasil bioteknologi yang terbuat dari kacang kedelai (Zubaidah *et al.*, 2015). Kecap adalah kecap Indonesia dan biasanya dibuat secara tradisional oleh produsen skala kecil, dengan sedikit atau tanpa



Gambar 2.8 Kecap
Sumber: (Alsabrina, 2018)

inovasi dalam proses sejak kuno (Prakash, 2016). Kecap, yang disebut kecap di Indonesia adalah kecap jenis Cina, dipengaruhi oleh gaya memasak lokal Indonesia (Hajeb & Jinap, 2015) yang biasanya berasa manis dan asin.

Salah satu proses pembuatan kecap, diawali kedelai difermentasi dengan menggunakan jamur *Aspergillus wentii*. Tahap selanjutnya kedelai yang sudah difermentasikan, dikeringkan, dan direndam di dalam larutan garam. Pembuatan kecap dilakukan melalui proses perendaman kedelai dengan larutan garam, sehingga

pembuatan kecap dinamakan fermentasi garam. Jamur *Aspergillus wentii* merombak protein menjadi asam-asam amino, komponen rasa, asam, dan aroma khas (Zubaidah *et al.*, 2015).

5. Fermentasi *Yoghurt*



Gambar 2.9 Yoghurt

Sumber: (Usmiati, 2011)

Yoghurt adalah salah satu jenis susu fermentasi yang dihasilkan oleh suatu proses yang dikenal sebagai *proto-cooperation* (Azam *et al.*, 2017) atau difermentasikan dengan menggunakan campuran bakteri starter culture (Maria & Mihai, 2018). Bakteri ini akan mengubah laktosa pada susu menjadi asam laktat (Zubaidah *et al.*, 2015). Secara khusus, fermentasi dan interaksi antara *Streptococcus salivarius* (subsp. *Thermophilus*) dan *Lactobacillus delbrueckii*. Kerjasama kedua jenis bakteri ini (*S. salivarius* dan *L. delbrueckii*) akan merangsang pertumbuhan satu sama lain dan dengan mudah

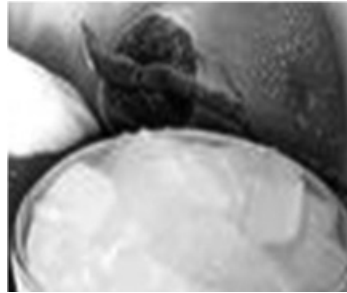
mengubah nutrisi. Bakteri *S. thermophilus* menyediakan asam format, asam folat, dan asam lemak, sementara aktivitas proteolitik oleh *L. delbrueckii* menyediakan asam amino (Maria & Mihai, 2018).

Pembuatan yogurt, melibatkan campuran bakteri seperti *Streptococcus thermophilus* dan strains *Lactobacillus* (*Lactobacillus delbrueckii* dan *Lactobacillus bulgaricus*). Dalam pembuatan yogurt tersebut, bahan-bahan (susu, mikroba, dan gula) dicampurkan untuk menghasilkan asam laktat. Kemudian dapat ditambahkan buah dan perasa lain, sebelum didinginkan sampai pada suhu 4 °C—5 °C, untuk mencegah perubahan komposisi (Thieman & Palladino, 2013). Cara lainnya, pada pembuatan Yogurt air susu dipasteurisasi pada suhu 73 °C selama 15 detik. Kemudian ditambahkan kultur starter bakteri. Fermentasi pada suhu 40 °C selama 2,5 -3,5 jam sampai susu menggumpal, dan asam laktat dihasilkan. Bakteri mengubah gula susu (laktosa) pada kondisi anaerobic. Lactose diubah menjadi asam laktat yang bersifat menggumpalkan casein (protein susu). Dihasilkan krem yogurt tebal dengan rasa sedikit asam (Nurcahyo, 2011). Proses penyimpanan yogurt, sebaiknya disimpan suhu 4°C untuk mengurangi aktivitas mikroba.

6. Fermentasi Nata de Coco

Nata de Coco (air kelapa), *Nata de Pina* (nanas), *Nata de Soya* (limbah tahu). *Acetobacter xylinum* ditumbuhkan pada substrat gula yang diberi air kelapa dieramkan beberapa hari didapatkan nata de coco. Yang kaya serat dan baik untuk sumber makanan berserat tinggi. Selulosa murni produk kegiatan mikrobial *Acetobacter xylinum*: mengubah gula menjadi selulosa (Nurcahyo, 2011).

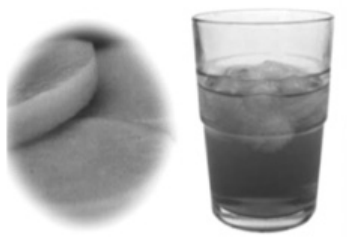
Gula pada air kelapa diubah menjadi asam asetat dan benang-benang selulosa. Lama-kelamaan akan terbentuk suatu massa yang kokoh dan mencapai ketebalan beberapa sentimeter. Dengan demikian, nata de coco dapat juga dianggap sebagai selulosa bakteri yang berbentuk padat, berwarna putih, transparan, berasa manis, bertekstur dan kenyal



Gambar 2.10 Nata de coco
Sumber: (Gupta et al., 2017)

7. Fermentasi Kombucha

Kombucha adalah minuman yang kemungkinan berasal dari Manchuria yang diperoleh dari teh yang difermentasi oleh konsorsium mikroba yang terdiri dari beberapa bakteri dan ragi (Villarreal-Soto, Beaufort, Bouajila, Souchard, & Taillandier, 2018). Minuman tradisi-



Gambar 1.3 Kombucha
Sumber: (Nurcahyo, 2011)

onal hasil fermentasi larutan teh dan gula dengan menggunakan starter mikrobial kombucha (*Acetobacter xylinum* dan beberapa jenis khamir) dan difermentasi selama 8 – 12 hari (Nurcahyo, 2011). Kombucha adalah minuman populer di antara banyak makanan fermentasi tradisional (Villarreal-Soto et al., 2018).

H. Penguatan STEM

Lakukan penelitian di lapangan tentang bioteknologi fermentasi, misalnya fermentasi tempe, fermentasi tapai, fermentasi alkohol, fermentasi kecap, fermentasi keju, fermentasi yogurt, fermentasi *nata de coco*, fermentasi kombucha atau yang sejenis. Eksplorasi dengan menggunakan instrumen penelitian, misalnya wawancara, analisis dokumen, dan lainnya yang diimplementasikan atau dilakukan masyarakat sekitarmu. Tulis dalam bentuk artikel ilmiah (PKM_AI).

I. Latihan Soal

1. Mengapa kontaminasi selain bakteri *Saccharomyces cerevisiae* perlu dicegah pada pembuatan tapai ? Padahal kita mengetahui bahwa fermentasi pada dasarnya juga menggunakan bakteri.
2. Sifat fermentasi dapat dibedakan menjadi 2 yaitu *aerob* dan *anaerob*. Berikan penjelasan kedua istilah tersebut!
3. Mengapa tapai terasa manis apabila sudah matang meski tanpa diberi gula sebelumnya?
4. Mengapa perlu ditambahkan pupuk (urea/ZA) pada media nata de coco?
5. Mengapa perlu ditambahkan asam cuka pada media nata de coco?

BAB III

BIOTEKNOLOGI PERTANIAN

DESKRIPSI, Bab ini mengingatkan mahasiswa tentang bioteknologi pertanian.

TUJUAN PEMBELAJARAN, Setelah mempelajari buku ini, mahasiswa diharapkan dapat (1) mendefinisikan bioteknologi pertanian; (2) memberikan contoh bioteknologi pertanian; (3) tuliskan metode transgenik pada tumbuhan; (4) menjelaskan penggunaan gene guns pada pembuatan tumbuhan transgenik; (5) menuliskan ragam cara yang bisa digunakan untuk pembuatan VCO; (6) memberikan contoh macam-macam enzim proteolitik buah-buahan.



Gambar 3.1 Bioteknologi pertanian digunakan untuk meningkatkan gizi, mempertinggi keamanan dan kualitas pangan.
Sumber: (Crawford, 2018).

Bioteknologi pertanian menyediakan solusi untuk para petani hari ini dalam bentuk tanaman yang lebih ramah lingkungan, menolak penyakit dan hama serangga, dan mengurangi biaya produksi petani

A. Pengertian Bioteknologi Pertanian

Bioteknologi memiliki dampak yang luar biasa pada pertanian (Crawford, 2018). Bioteknologi pertanian adalah istilah yang digunakan dalam perbaikan tanaman dan ternak melalui alat bioteknologi (Gupta *et al.*, 2017). Bioteknologi pertanian menyediakan solusi untuk para petani hari ini dalam bentuk tanaman yang lebih ramah lingkungan, menolak penyakit dan hama serangga, dan mengurangi biaya produksi petani (Thieman & Palladino, 2013). Bioteknologi pertanian merupakan salah satu cabang dari pengembangan bioteknologi dengan menerapkan ilmu dan teknologi pertanian secara efektif dan bijak yang diarahkan untuk pemenuhan kebutuhan manusia akan pangan. Selain itu, bioteknologi menyediakan sarana untuk mengembangkan hasil panen yang lebih tinggi di sepertiga waktu yang diperlukan untuk mengembangkannya melalui program pemuliaan tanaman tradisional karena gen untuk karakteristik yang diinginkan dapat disisipkan langsung ke tanaman tanpa harus melalui beberapa generasi untuk menetapkan sifat (Crawford, 2018). Dengan demikian, bioteknologi dapat digunakan untuk meningkatkan nilai tunai tanaman, karena tanaman dapat dikembangkan yang dapat menghasilkan produk baru dan baru seperti antibiotik, hormon, dan obat-obatan lainnya.

B. Tantangan dan Tren Bioteknologi Pertanian di Indonesia

Terobosan teknologi diharapkan harus berindikasi pembangunan yang berkesinambungan. Bioteknologi pertanian kelihatannya memperlihatkan dan menawarkan potensi keunggulannya dan sekaligus risikonya. Hal tersebut menimbulkan beberapa pertanyaan,

di antaranya (1) produk-produk bioteknologi pertanian apa saja yang berpotensi dikembangkan di era abad 21; dan (2) ragam usaha-usaha apa saja untuk memilah produk dan bioteknologi pertanian yang tepat di Indonesia.

Kemajuan bioteknologi telah menghasilkan berbagai produk yang berusaha memenuhi kebutuhan hidup manusia baik yang berkaitan dengan pemenuhan kebutuhan pangan, misalnya diproduksinya tanaman transgenik (Miftachul, 2015). Tanaman transgenik (*transfer gen* langsung pada tanaman) memungkinkan inovasi yang tidak mungkin dicapai dengan metode hibridisasi konvensional. Beberapa perkembangan telah memiliki potensi komersial yang signifikan yaitu tanaman yang menghasilkan pestisida sendiri, tanaman yang tahan terhadap herbisida dan bahkan produk biologi seperti vaksin tanaman dan biofuel. Produksi protein tanaman transgenik relatif mudah dan kualitas proteinnya cukup baik, prospek penelitian dan perkembangan masa depan pada aspek ini terlihat sangat cemerlang. Misalnya, melalui pemuliaan klasik, kekuatan rata-rata serat kapas telah terus meningkat 1,5% per tahun. Bioteknologi telah secara drastis mempercepat kecepatan ini yaitu dengan menyisipkan gen tunggal sehingga kekuatan rata-rata serat satu varietas kapas dataran tinggi meningkat sebesar 60% (Thieman & Palladino, 2013).

Prevalensi (kelaziman) tanaman transgenik di dunia pertanian terus meningkat adalah pada padi, gandum, dan kentang, serta kedelai. Beberapa produk tanaman transgenik beras kaya vitamin A beras, tersebut dan kedelai berasam oleat tinggi. Di samping makanan dan pakan tanaman, produksi vaksin tanaman dan bioplastik serta

tanaman fitoremediasi juga mengalami peningkatan (Thieman & Palladino, 2013).

C. Metode Transgenik pada Tumbuhan

Beberapa metode transgenik pada tumbuhan di antaranya, yaitu: (1) hibridisasi, (2) fusi atau peleburan protoplas, (3) teknik potongan daun, (5) *gene guns* atau pistol gen, (6) teknik kloroplas, dan (7) teknologi anti sense (Thieman & Palladino, 2013). Uraian lebih rinci disajikan sebagai berikut.

1. Hibridisasi

Hibridisasi adalah proses persilangan (*crossing*) dua individu yang berbeda secara genetik untuk menciptakan genotipe baru (Crawford, 2018). Proses mendapatkan bibit unggul biasanya secara konvensional dilakukan dari tanaman dalam satu spesies. Upaya pengembangan teknik rekayasa genetik pada tanaman bukanlah suatu hal yang baru. Dengan bioteknologi, para ilmuwan sekarang dapat memindahkan gen-gen khusus untuk sifat yang diinginkan ke dalam tanaman.

Sejak berkembangnya bidang pertanian, para petani telah melakukan seleksi benih sesuai sifat-sifat yang diinginkan (Thieman & Palladino, 2013).. Salah satu cara untuk mendapatkan bibit unggul sesuai sifat-sifat yang diinginkan dilakukan dengan perkawinan silang (hibridisasi) antara 2 jenis tanaman dan mengulang kembali perkawinan silang antara keturunan hibrid dengan salah satu induknya.

2. Fusi Protoplas

Dinding tersebut dapat dipecah dengan enzim selulase sehingga menghasilkan sel tanpa dinding sel yang disebut protoplas.

Protoplas ini dapat digabungkan dengan protoplas lain dari beberapa spesies, kemudian membentuk sel yang dapat tumbuh menjadi hibrid. Metode ini disebut *fusi protoplas* (Thieman & Palladino, 2013). Ketika tanaman dilukai, maka sejumlah sel yang disebut *callus* akan tumbuh pada tempat yang dilukai tersebut. Sel-sel *callus* memiliki kemampuan untuk berdiferensiasi menjadi tunas dan akar serta keseluruhan tanaman berbunga. Potensi alami sel-sel tersebut yang terprogram menjadi calon tanaman baru sangat ideal untuk rekayasa genetik. Seperti pada sel-sel tanaman, sel-sel *callus* dikelilingi oleh dinding selulosa yang tebal, yaitu sebuah rintangan yang menghambat pembentukan DNA baru.

3. Teknik Potongan Daun

Transfer genetik terjadi secara alami pada tanaman dalam merespon organisme pathogen. Contohnya, suatu luka dapat dilukai oleh bakteri tanah *Agrobacterium tumefaciens* (Agrobacter). Bakteri ini memiliki plasmid yang besar (molekul DNA *double helix* yang sirkuler) yang dapat merangsang sel-sel tanaman untuk tumbuh terus menerus tanpa terkontrol (tumor). Oleh karena itu, plasmid dikenal sebagai *tumor inducing (Ti) plasmid*. Sedangkan hasil dari tumor tersebut disebut *crown gall*. Selama infeksi, bakteri ini mentransfer sebagian kecil materi genetik yang dimilikinya (T-DNA) ke dalam genom sel tanaman inang. Pada teknik potongan daun ini, daun dipotong kecil-kecil kemudian ketika potongan daun mulai beregenerasi, selanjutnya akan dikultur pada medium yang mengandung *Rizobium radiobacter* yang telah mengalami modifikasi genetik. Selama proses ini, DNA dan plasmid *Ti* berintegrasi ke DNA

sel inang dan materi genetik yang menguntungkan telah dikirim. Potongan daun tersebut kemudian diberi hormon untuk merangsang pertumbuhan tunas dan akar (Thieman & Palladino, 2013).

4. Pistol Gen

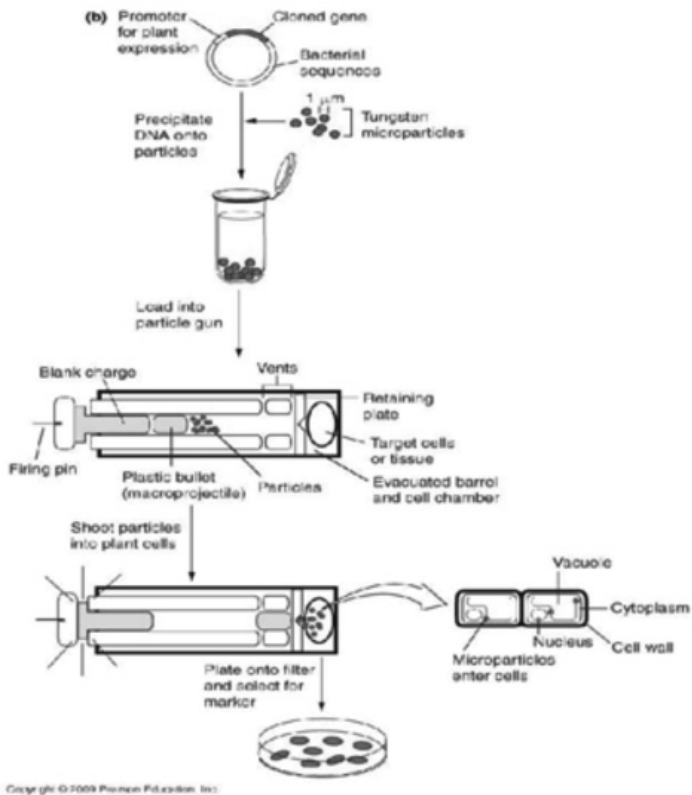


Gambar 3.2: Pistol Gen

Sumber: Thieman & Michael, (2013: 163).

Pistol gen atau *Gene Guns* merupakan salah alternatif lain untuk menyisipkan gen ke tanaman yang tahan terhadap *Agrobacter*. Selain mengandalkan sarana mikroba, bisa juga menggunakan “*pistol gen*” untuk menembakkan logam kecil yang diselubungi DNA ke embrio sel tumbuhan. Teknik ini memiliki kelebihan yakni dapat menghasilkan tanaman dengan sifat yang sesuai keinginan. Metode transfer gen ini dioperasikan secara fisik dengan menembakkan partikel *DNA-coated* (logam kecil yang diselubungi DNA) langsung ke sel atau jaringan tanaman (Thieman & Palladino, 2013). Metode

transfer gen dengan pistol gen (Gambar 3.2) divisualisasikan pada Gambar 3.3 sebagai berikut.



Gambar 3.3 Teknik Transfer Gen dengan Pistol Gen

Sumber: (Thieman & Palladino, 2013).

Pistol gen khusus digunakan untuk menembakkan DNA ke dalam inti sel tumbuhan, namun juga bisa membidik kloroplas, yaitu bagian sel yang mengandung klorofil. Tumbuhan memiliki 10-100 kloroplas pada tiap selnya dan setiap kloroplas masing-

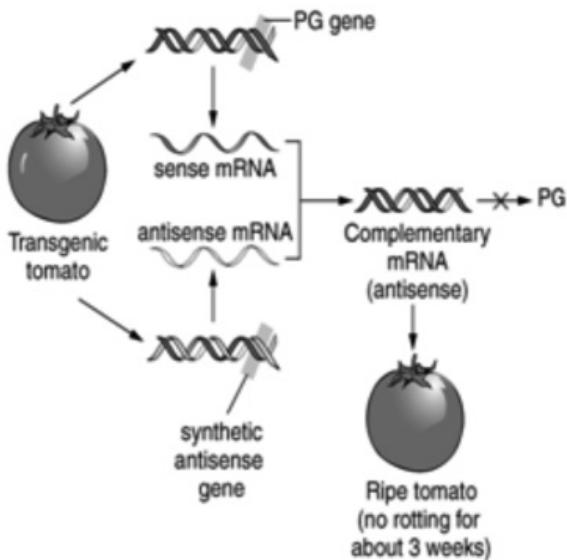
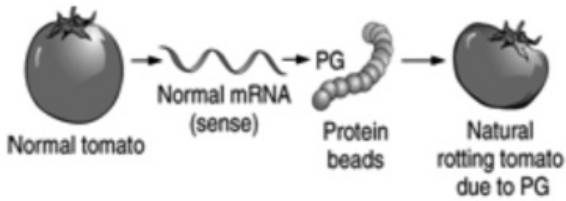
masing mempunyai ikatan DNA. Guna dapat memastikan apakah target pistol gen tersebut adalah inti sel atau kloroplas, peneliti harus mengidentifikasi sel yang dimasuki DNA terlebih dahulu. Pada salah satu pendekatan yang umum, Penulis menggabungkan gen yang diinginkan dengan sel yang mengandung antibiotik tertentu. Gen ini disebut “*marker gene*” atau gen pelopor. Setelah menggunakan pistol gen, Penulis mengumpulkan sel dan menumbuhkan mereka di dalam medium yang mengandung antibiotik. Hanya sel yang mengalami transformasi saja yang akan bertahan (Thieman & Palladino, 2013).

5. Rekayasa Kloroplas

Kloroplas dapat menjadi target rekayasa genetika, sebagaimana yang telah dibahas pada bagian pistol gen. Tidak seperti DNA pada inti sel, DNA pada kloroplas dapat menerima beberapa gen baru dalam satu waktu. Selain itu, kemungkinan besar gen yang menyisip ke dalam kloroplas akan tetap aktif saat tumbuhan menjadi dewasa. Keuntungan lainnya adalah bahwa DNA dalam kloroplas terpisah seluruhnya dari DNA yang dibebaskan pada serbuk sari tanaman. (Thieman & Palladino, 2013). Namun demikian, ketika kloroplas secara genetik dimodifikasi, ada kemungkinan bahwa gen yang ditransformasi akan terbawa jauh oleh dengan bantuan angin.

6. Teknologi Anti Sense

Pelunakan dan sebab rusaknya buah banyak dipelajari karena sangat berperan penanganan pasca panen selama dan transport buah-buahan. Kekerasan buah merupakan fungsi dari dinding sel



Gambar 3.4: Tomat Flavr Savr sebagai Tanaman transgenik

Sumber: Thieman & Palladino, 2013: 163.

yang merupakan komponen struktural yang mengelilingi setiap sel tanaman. Selama pematangan buah, berbagai enzim yang terlibat dalam degradasi dinding sel disintesis dalam buah, di antaranya selulase untuk memecah selulosa, *Poligalakturonase* (PG) dan *Pectin Metilesterase* (PME) yang mendegradasi pectin. Salah satu

gen yang mengontrol pelunakan yang paling banyak dipelajari adalah gen yang mengkode enzim poligalakturonase (PG), yang mengkatalis hidrolisis rantai asam poligalakturonat pada dinding sel. Penurunan ekspresi gen PG ini diharapkan akan memperlambat proses pelunakan buah (Thieman & Palladino, 2013).

D. Aplikasi Praktis Bioteknologi Pertanian

1. Vaksin untuk Tanaman

Serangan terhadap hasil pertanian oleh virus tanaman sudah menjangkau wilayah yang luas. Infeksi dapat menyebabkan pengurangan rata-rata pertumbuhan, hasil pertanian yang jelek dan menurunkan hasil pertanian. Keberuntungan para petani dapat melindungi hasil pertaniannya dengan merangsang pertahanan alami tanaman untuk melawan penyakit dengan vaksin. Seperti halnya vaksin polio pada manusia, vaksin tanaman dapat menyebabkan kematian atau melemahkan virus tanaman, mengaktifkan kembali sistem imun pada tanaman, dan membuat tanaman resisten terhadap virus (Thieman & Palladino, 2013).

2. Pestisida Genetik

Selama 50 tahun terakhir, banyak petani percaya pada pestisida alami bakteri untuk mencegah serangga merusak hasil pertanian. *Bacillus thuringiensis* (*Bt*) menghasilkan kristal protein yang dapat membunuh serangga dan larvanya. Protein kristal (dari *Gen Cry*) memecah zat yang menyatukan sel saluran pencernaan serangga tertentu. Serangga sasaran protein ini mati dalam waktu singkat dengan “*autodigestion*”. Gen *Cry* menyebabkan berkembangnya

dari tanaman rekayasa genetika yang resisten terhadap serangga (Thieman & Palladino, 2013). Penyebaran spora dari bakteri tersebut sehingga petani dapat melindungi tanamannya tanpa menggunakan bahan kimia berbahaya.

3. Resistensi Herbisida

Pengendalian gulma secara tradisional mempunyai kelemahan mendasar, misalnya saat para petani ingin mengendalikan gulma pengganggu tanaman, juga berdampak pada tanaman yang dibudidayakan. Namun demikian, pada saat ini para petani di negara maju mulai menggunakan bioteknologi untuk menggunakan herbisida (Thieman & Palladino, 2013). Pemanfaatan rekayasa genetika untuk tahan terhadap herbisida umum seperti glipospat. Para ilmuwan telah menciptakan tanaman transgenik yang memproduksi enzim alternatif yang tidak terpengaruh oleh glipospat. Artinya gulma yang tidak diinginkan akan rentan. Pendekatan ini telah sukses terutama terhadap kedelai kebanyakan tumbuh yang mengandung gen yang tahan herbisida.

4. Biofuel dari Limbah Tanaman

Di masa mendatang, ada kemungkinan untuk dapat menghasilkan bahan bakar dari tanaman. Misalnya para ilmuwan mengembangkan sebuah metode untuk mengambil energi yang tersimpan pada limbah tanaman. Energi solar diambil dari proses fotosintesis yang memungkinkan ketersediaan energi pada sel dinding polimer tanaman (selulosa, lignin, hemiselulosa pada jerami, lambung, sekam dan pepohonan). Energi ini tetap tersimpan

walaupun tanaman tersebut terbakar. Jika penggunaan etanol dan biodiesel semakin meningkat, produksi bahan bakar dari tanaman tidak akan ada lagi sekarang. Jika energi tersebut dapat dilepaskan, rerumputan, kayu dan residu tanaman kemungkinan masih dapat diperbaharui, menyediakan sumber gula untuk kemudian akan dikonversi menjadi bahan bakar (Thieman & Palladino, 2013). Proses ini terdiri dari tahapan pengumpulan, menghancurkan dinding sel (perlakuan awal), dan konversi gula ke biofuel

5. Biofuel dari Alga

Kebanyakan kelompok penghasil biofuel telah diteliti selain jagung dan rerumputan sampai alga mikroskopik sebagai alternatif selanjutnya untuk menghasilkan petroleum. Mikroalga secara alami menghasilkan dan menyediakan senyawa seperti minyak). Jika bahan tersebut dapat mengubah bahan kimia menjadi lebih efisien, kemungkinan dapat menghasilkan biofuel. Setelah proses modifikasi kimia, alkana akan menghasilkan biodiesel yang serupa. Hasil dari 50% sampai 60% pergram minyak dari sel alga dianggap memiliki kualitas baik, alga olazyme memproduksi 75% minyak per gram dari berat kering (Thieman & Palladino, 2013).Perusahaan ini merupakan yang pertama yang menghasilkan bahan bakar minyak dari mikroba sehingga membuat yakin akan kemampuannya untuk menghasilkan jutaan balon bahan bakar perhari

E. Penguatan STEM

Ragam cara yang bisa digunakan untuk pembuatan VCO, pemanasan, enzimatik, fermentasi. Pembuatan VCO tanpa melalui

pemanasan dapat juga dengan menggunakan enzim yang bersifat proteolitik. Enzim proteolitik ini dapat diperoleh dari buah-buahan, sayuran maupun getah tanaman. Dalam bentuk kelompok, carilah informasi *macam-macam enzim proteolitik* buah-buahan. Salah satu cara yang bisa Anda lakukan dengan mengakses <http://ejournal.unesa.ac.id/index.php/bioedu/article/view/1527/3033> untuk melengkapi tabel berikut.

Nama Buah	Kandungan enzim dominan
Pepaya	<i>Papain</i>
Nenas	<i>Bromelin</i>
Melon	<i>Cucumisin dan serine protease</i>
Mentimun	<i>Cucumisin dan serine protease</i>
Lidah buaya	<i>Enzim bradykinase dan proteolytiase</i>
Buah Naga Merah	<i>Alkalin</i>

***) Alternatif Rekayasa:**

Dari Hasil tersebut, lakukan studi eksperimen tentang pembuatan VCO. Salah satu karakteristik studi eksperimen adalah adanya perlakuan atau variabel manipulasi. Tulis hasil studimu dalam bentuk Artikel Ilmiah.

F. Latihan Soal

1. Bagaimana upaya yang dapat dilakukan untuk mengurangi keberadaan limbah dari pertanian?

2. Bagaimana cara mengolah limbah pertanian agar dapat dimanfaatkan oleh lingkungan?
3. Bagaimana cara menghasilkan jagung yang memiliki sifat tahan hama?
4. Mengapa jagung transgenik pada gambar tersebut memiliki sifat tahan hama, tidak seperti pada jagung biasa?
5. Apa manfaat dikembangkannya jagung tahan hama bagi manusia?

BAB IV

BIOTEKNOLOGI PETERNAKAN

DESKRIPSI, Bab ini mengingatkan mahasiswa tentang bioteknologi peternakan.

TUJUAN PEMBELAJARAN, Setelah mempelajari buku ini, mahasiswa diharapkan dapat (1) mendefinisikan bioteknologi peternakan; (2) memberikan contoh cara untuk meningkatkan produk bioteknologi peternakan; (3) mendefinisikan dimaksud hewan transgenik; (4) mengaplikasikan bioteknologi hewan dalam konteks STEM.



Gambar 4.1 GloFish, hewan rekayasa genetika pertama yang dijual sebagai hewan peliharaan.

Sumber: (Crawford, 2018).

Hewan transgenik merupakan hewan yang diinjeksi dengan DNA dari hewan lain (Crawford, 2018). Transformasi gen tersebut yang umumnya berasal dari spesies yang sama, tetapi dapat juga berasal dari spesies berbeda yang dilakukan terhadap embrio sebelum hewan transgenik tersebut dilahirkan

A. Pengertian Bioteknologi Peternakan

Bioteknologi peternakan adalah cabang bioteknologi ini berkaitan dengan pengembangan hewan transgenik (Crawford, 2018). Bioteknologi peternakan adalah pemanfaatan proses biologis melalui rekayasa genetika atau melalui proses genetik dan rekayasa proses untuk menghasilkan ternak dan produk peternakan yang berkualitas (Feradis, 2010). Pendapat sejenis menyatakan bioteknologi hewan adalah teknik yang aman untuk memproduksi daging, susu, dan telur (Mary Chin Lee *et al.*, 2013).

B. Tantangan dan Tren Bioteknologi Peternakan di Indonesia

Bioteknologi telah terbukti mampu memberikan keuntungan berupa nilai tambah terhadap hasil yang dicapai melalui sistem produksi yang baku. Berbeda dengan di negara kita, peran swasta terhadap perkembangan bioteknologi di negara-negara maju sangat kentara. Hormon pertumbuhan sapi yang dikenal dengan nama *Bovine Somatotropin* (BST) adalah hormon generasi pertama bioteknologi. Sapi muda BST mengatur pembentukan otot dan pertumbuhan, sementara pada sapi dewasa hormon ini mengendalikan produksi susu. BST yang dihasilkan oleh bakteri hasil rekayasa genetik, bila diberikan kepada sapi setiap hari secara teratur dapat meningkatkan produksi hingga 7—14%. Secara teoritis memang semua jenis protein yang ada pada manusia bisa diproduksi oleh ternak, sepanjang gen yang memberikan kode genetik untuk pembentukan protein tersebut bisa di isolasi. Salah satu contoh, misalnya protein laktoperin yang terdapat pada air susu ibu (ASI) telah berhasil diproduksi oleh sapi

transgenik. Di dunia peternakan hingga sekarang para ahli telah berhasil merekayasa kambing, domba, babi dan sapi (Feradis, 2010).

Di Indonesia sendiri Bioteknologi peternakan cenderung lamban perkembangannya dan peran pemerintah masih begitu dominan. Pengembangan Bioteknologi merupakan salah satu dari agenda di dalam pengelolaan sumberdaya alam, namun gemanya nyaris tak terdengar, apalagi kiprah operasionalnya. Indonesia memiliki tidak kurang dari 200.000 jenis hewan, dan dari berbagai jenis hewan tersebut sebagian di antaranya telah didomestikasi menjadi ternak yang dipelihara oleh masyarakat antara lain ternak berkaki empat sebanyak 87 spesies dan unggas tidak kurang dari 84 spesies. Keanekaragaman tersebut merupakan potensi yang membanggakan dan sekaligus menjanjikan. Potensi plasma nutfah tersebut dengan kemajuan Bioteknologi dapat digunakan sebagai modai dasar untuk rekayasa pembentukan bibit ternak unggul yang sesuai dengan kondisi tropis dan secara sosiaf budaya dapat diterima peternak (Feradis, 2010). Namun demikian, saat ini yang kita saksikan ialah bahwa potensi tersebut belum kita berdayakan secara optimal, sehingga belum menjadi anugerah yang mampu memberikan kesejahteraan masyarakat.

C. Penerapan Bioteknologi dalam Bidang Peternakan

Kemajuan-kemajuan ilmu pengetahuan (sains) dan sebagai stimulus percepatan perkembangan bioteknologi. Selain itu, banyak hal yang juga ikut berperan lahirnya Bioteknologi, di antaranya adalah karena semakin untuk mencapai target yang diinginkan dengan proses yang terobosan yang inovatif agar bisa menguntungkan

bagi bagi umat manusia. Bioteknologi dapat digunakan untuk meningkatkan peternakan, antara lain nya melalui: (1) kloning, (2) inseminasi buatan, (3) transfer embrio, dan (4) rekayasa genetika (Sutarno, 2016). Uraian lebih rinci disajikan sebagai berikut.

1. Transplantasi Nukleus

Teknologi ini lebih dikenal dengan teknologi kloning yaitu teknologi yang digunakan untuk menghasilkan individu duplikasi atau mirip dengan induknya (Sutarno, 2016). Metode teknologi DNA rekombinan atau rekayasa genetik yang inti prosesnya adalah kloning gen (Mohamad Amin, 2015). Teknologi transplantasi nukleus atau lebih dikenal dengan teknologi kloning yaitu digunakan untuk menghasilkan individu duplikasi (mirip den teknologi kloning telah berhasil dilakukan pada beberapa jeni satunya adalah pengkloningan domba yang dikenal dengan melalui kloning hewan, beberapa organ manusia unl transplantasi penyembuhan suatu penyakit berhasil dibentuk (Sutarno, 2016).

Unsur-unsur yang esensial diperlukan dalam kloning DNA, yaitu: (1) enzim retraksi (enzim pemotong DNA); (2) kloning vektor (pembawa); (3) enzim ligase yang berfungsi menyambung rantai DNA (Sutarno, 2016). Adapun proses-proses dasar dalam kloning DNA meliputi: (1) Pemotongan DNA (DNA organisme yang diteliti dan *DNA vector*); (2) Penyambungan potongan-potongan (fragmen) DNA Organisme dengan DNA vektor menggunakan enzim ligase; (3) Transformasi rekombinan DNA (vektor + DNA sisipan) ke dalam sel bakteri *Eschericia coli*; dan (4) Seleksi (*screening*) untuk mendapatkan klon DNA yang diinginkan.

2. Inseminasi Buatan

Inseminasi Buatan merupakan teknologi reproduksi yang mampu dan telah berhasil untuk meningkatkan mutu genetik ternak, sehingga dalam waktu pendek dapat menghasilkan anak dengan kualitas baik (Irfan, Wahjuningsih, & Susilawati, 2017). Teknik ini dengan nama kawin suntik, suatu teknik untuk memasukkan sperma yang dicairkan dan diproses terlebih dahulu yang berasal dari ternak jantan ke dalam saluran alat kelamin betina dengan menggunakan metode dan alat khusus (Sutarno, 2016). Banyak faktor yang mempengaruhi tingkat keberhasilan inseminasi buatan yaitu bangsa ternak, kondisi ternak pada saat berahi, keterampilan inseminator saat mendeposisikan semen, deteksi berahi dan ketepatan waktu saat inseminasi buatan (Irfan *et al.*, 2017).

3. Tranfer Embrio

Teknologi embrio transfer memberikan keuntungan ganda, yaitu dapat memfasilitasi peningkatan mutu genetik ternak sekaligus memperoleh sapi yang berkualitas genetik tinggi dalam jumlah besar baik dari pejantan maupun dari betina unggul (Adriani, Rosadi, & Depison, 2008). Teknik tranfer embrio ini tidak perlu bunting tetapi hanya berfungsi menghasilkan embrio yang untuk selanjutnya bisa ditransfer pada induk titipan dengan kualitas yang tidak perlu bagus tetapi memiliki kemampuan untuk bunting. Embrio yang di dapat langsung di transfer ke dalam sapi resipien atau disimpan dan di transfer pada waktu lain (Sutarno, 2016). Kawin suntik memfokuskan

pada sperma jantan, maka transfer embrio tidak hanya potensi dari jantan saja yang dioptimalkan, melainkan potensi betina berkualitas unggul juga dapat dimanfaatkan secara optimal.

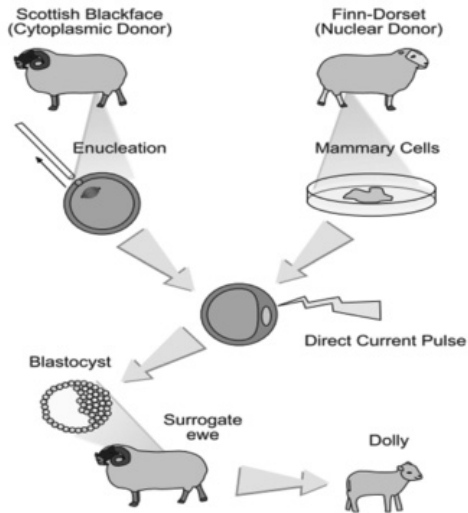
4. Rekayasa Genetik

Rekayasa Genetik atau rekombinan DNA merupakan kumpulan teknik-teknik eksperimental yang memungkinkan peneliti untuk mengisolasi, mengidentifikasi, dan melipatgandakan suatu fragmen dari materi genetika (DNA) dalam bentuk murninya (Sutarno, 2016). Hewan transgenik merupakan bahan penelitian para ilmuwan untuk menemukan jenis penyakit yang menyerang hewan tertentu dan cara penanggulangannya (Zubaidah *et al.*, 2015). Pemanfaatan teknik genetika di dalam bidang peternakan diharapkan dapat memberikan sumbangan, membantu memahami mekanisme-mekanisme dasar proses maupun dalam penerapan praktisnya seperti misalnya untuk hewan-hewan ternak unggul (Sutarno, 2016). Perkembangan selanjutnya, penerapan teknologi rekayasa genetik pada hewan bertujuan untuk menghasilkan hewan temak yang memproduksi susu dan daging yang berkualitas, ikan yang cepat besar dan mengandung vitamin tertentu, dan sebagainya (Zubaidah *et al.*, 2015). Untuk tujuan ini dapat dilakukan melalui pengkloning atau pemindahan gen-gen penyandi sifat-sifat ekonomis penting pada hewan, pemanfaatan klon-klon DNA sebagai marker (penanda) dalam membantu meningkatkan efisiensi seleksi dalam program pemuliaan (Sutarno, 2016).

D. Aplikasi Praktis Bioteknologi Peternakan

1. Hewan Transgenik

Hewan transgenik merupakan satu alat riset biologi yang potensial dan sangat menarik karena menjadi model yang unik untuk mengungkap fenomena biologi yang spesifik. Beberapa hewan transgenik diproduksi untuk mempunyai sifat ekonomis tertentu, misalnya untuk memproduksi susu yang mengandung



Gambar 4.2 Proses Kloning Domba Dolly
Sumber: (Crawford, 2018)

protein khusus manusia yang dapat membantu dalam perawatan penyakit tertentu (Sutarno, 2016). Peneliti telah menggunakan transgenik untuk meningkatkan produksi susu, dengan membuat susu kaya protein, rendah lemak, dan memproduksi susu yang lebih baik dan cocok untuk dikonsumsi anak manusia penyakit (Zubaidah *et al.*, 2015). Para ilmuwan telah menggunakan teknologi tersebut untuk untuk mengembangkan ternak transgenik misalnya sapi trasgenik yang mempunyai laju pertumbuhan yang tinggi dan kualitas daging yang baik. Hewan transgenik dapat dijadikan andalan sebagai hewan yang potensial dalam memajukan dunia peternakan (Sutarno, 2016).

Kloning hewan tidak dianggap mungkin, sampai ditemukan bahwa di amfibi beberapa pembelahan sel pertama setelah pembuahan menghasilkan sel yang totipoten (Nambisan, 2017). Visualisasi Proses Kloning Domba Dolly disajikan pada Gambar 4.2. Dengan berkembangnya teknik-teknik molekuler, telah memungkinkan terjadinya percepatan perkembangan dalam bidang Rekayasa genetik suatu makhluk hidup (Sutarno, 2016). Penguasaan teknik rekombinan DNA telah memungkinkan berkembangnya teknik rekayasa materi genetik yang memungkinkan dibentuknya hewan transgenik.

Hewan transgenik adalah hewan yang telah mengalami rekayasa susunan materi genetiknya sehingga di hasilkan hewan atau tumbuhan yang memiliki sifat-sifat yang diinginkan manusia(Sutarno, 2016). Tujuan dari teknologi ini adalah meningkatkan produk dari hewan ternak seperti daging, susu, dan telur menjadi lebih tinggi (Sutarno, 2016). Contoh dari hewan yang mengalami teknologi ini adalah domba transgenik. DNA domba ini disisipi dengan gen manusia yang disebut *factor VIII* (protein pembeku darah) dengan harapan gen tersebut diekspresikan (Sutarno, 2016).

2. Bioreaktor

Telah diketahui bahwa protein merupakan produk Bioteknologi yang penting dan bahwa semua bagian dari hewan bisa menjadi “bioreaktor” untuk menghasilkan protein-protein yang dibutuhkan. Bagaimanakah cara kerja bioreaktor hewan? Dijelaskan bahwa gen yang diharapkan menghasilkan protein tertentu ditransfer ke sel target melalui transgenesis (Sutarno, 2016).

3. Biosteel

Biosteel merupakan temuan terbaru yang memiliki fungsi luar biasa karena bisa dipakai untuk bahan pembuat rompi antipeluru dan juga benang untuk menjahit luka bekas operasi (Sutarno, 2016). Pada dasarnya, *biosteel* ini merupakan jaring laba-laba. Jaring laba-laba ini telah sekian lama diketahui sebagai salah satu jenis serat terkuat yang pernah ada di muka bumi. Di masa lampau, serat jaring laba-laba tentu saja bukan merupakan suatu bahan yang potensial untuk digunakan dalam industri karena laba-laba hanya memproduksi sedikit sekali jaring untuk bisa dimanfaatkan dalam industri komersil. Bisa dibayangkan bagaimana susahnya beternak laba-laba? Tentu saja hal tersebut akan sangat sulit dilakukan (Sutarno, 2016). Karenanya, kita harus berterimakasih kepada para ahli yang telah bekerja keras mengembangkan transgenesis, karena kini laba-laba bukanlah sumber utama penghasil serat untuk pembuat jaringnya itu (Sutarno, 2016). Gen pembawa sifat penghasil serat jaring laba-laba telah sukses ditransfer ke kambing, dan kambing-kambing ini bereproduksi, mewariskan sifatnya kepada keturunan mereka selanjutnya (Sutarno, 2016). Dan sekarang, kita memiliki segerombolan domba penghasil “serat susu”. Kita tidak perlu terus menerus memantau perkembangan reaktor-reaktor ini, karena mereka seperti kambing pada umumnya juga makan rumput, jerami, dan beberapa jenis biji-bijian dan secara alami memproduksi susu yang mengandung protein yang sama dengan protein untuk membuat jaring laba-laba (Sutarno, 2016).

E. Manfaat Bioteknologi Peternakan

Memodifikasi materi genetik hewan telah banyak dilakukan dengan tujuan memiliki berbagai macam manfaat yang bisa diambil, antara lain: (1) Bidang sains dan kedokteran hewan yang secara genetika sudah dikenal dengan istilah *Genetically Modified Animal* (GMA) seperti pada hewan uji (misalnya Mencit) dapat digunakan untuk penelitian bagaimana fungsi yang ada pada hewan, Disamping itu juga digunakan untuk memahami dan mengembangkan perlakuan pada penyakit pada manusia maupun hewan. (2) *Pengobatan Penyakit*, beberapa penelitian telah menggunakan protein pada manusia untuk mengobati penyakit tertentu dengan cara mentransfer gen manusia ke dalam gen hewan atau sapi. Selanjutnya hewan tersebut akan menghasilkan susu yang memiliki protein dari gen manusia yang akan digunakan untuk penyembuhan pada manusia. (3) *modifikasi hasil produksi hewan*, beberapa Negara melakukan rekayasa genetik pada hewan ternak yang diharapkan akan menghasilkan hewan ternak yang cepat pertumbuhannya, tahan terhadap penyakit menghasilkan protein atau susu yang sangat bermanfaat bagi manusia (Sutarno, 2016).

Rekayasa genetik juga dapat melestarikan spesies langka. Sebagai contoh, sel telur zebra yang sudah dibuahi lalu ditanam dalam Rahim kuda yang merupakan spesies lain sebagai *surrogate mother* (induk titipan). Teknik pelestarian dengan rekayasa genetik ini sangat bermanfaat, dengan alasan, di antaranya: (1) Induk dari spesies biasa dapat melahirkan anak dari spesies langka; (2) telur hewan langka yang sudah dibuahi dapat dibekukan, lalu disimpan

bertahun-tahun meskipun induknya sudah mati, dan (3) telur yang sudah disimpan beku ini kemudian dapat ditransplantasi (Sutarno, 2016).

F. Penguatan STEM

Buatlah poster terkait bioteknologi hewan atau peternakan dengan mengintegrasikan sains, teknologi, rekayasa, dan matematika

G. Latihan Soal

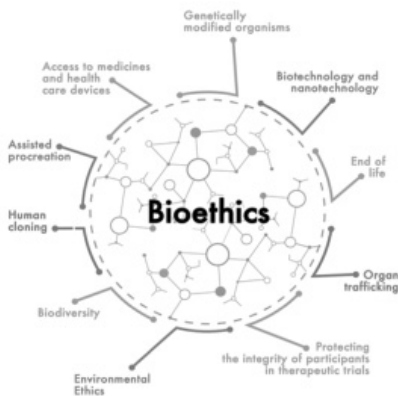
1. Jelaskan pengertian bioteknologi hewan!
2. Jelaskan 3 metode yang digunakan dalam biotek hewan!
3. Tuliskan 3 produk-produk biotek hewan!
4. Jelaskan 3 manfaat biotek hewan bagi hewan dan manusia!

BAB V

BIOETIKA

DESKRIPSI, Bab ini mengingatkan mahasiswa tentang bioetika dalam konteks bioteknologi

TUJUAN PEMBELAJARAN, Setelah mempelajari buku ini, mahasiswa diharapkan dapat (1) membedakan definisi bioetika, norma, dan moral; (2) menjelaskan tujuan bioetika; (3) menjelaskan prinsip-prinsip dari bioetika; dan (4) menjelaskan reduce, replace, refine terkait standar perlakuan penggunaan hewan dalam penelitian.



Gambar 5.1 Bioetika mempertimbangkan topik-topik seperti kehidupan manusia
Sumber: mbchb.med.cuhk.edu.hk

Etika mengidentifikasi kode nilai untuk tindakan kita, terutama terhadap manusia lainnya. Dalam istilah sederhana, etika dapat dianggap sebagai panduan memisahkan yang benar dari yang salah dan yang baik dari yang buruk

A. Pengantar Bioetika

Bioteknologi terus berbaris ke depan, itu pasti akan menimbulkan pertanyaan moral dan hukum baru. Isu-isu dalam Bioetika Ada beberapa "hitam dan putih" atau "benar dan salah", tetapi berbagai nuansa abu-abu (Asshiddiqie, 2015). Kemungkinan isu besar menciptakan tantangan baru, dan garis antara perilaku etis dan tidak etis semakin tidak jelas. Oleh karena itu, banyak tantangan etika dan ragam jawaban yang tidak pasti. Namun demikian, seperti teknologi membantu memecahkan masalah-masalah sebelumnya, kami percaya hal itu juga akan memainkan peran utama dalam memecahkan masalah masa depan. Oleh karena itu, isu-isu bioetika penting untuk dipelajari.

UNESCO bukanlah satu-satunya organisasi yang bekerja di bidang bioetika (Langlois, 2014). Bidang Etika Medis, juga dikenal sebagai Bioetika, telah tumbuh secara eksponensial selama bertahun-tahun terutama dalam keahlian dan pendanaannya (Clark, 2012). Dunia pendidikan di Indonesia dewasa ini dihadapkan pada dilema untuk menghasilkan sumberdaya manusia Indonesia yang berkualitas. Dilema itu adalah menurunnya karakter peserta didik yang ditandai dengan terjadinya degradasi moral dan etika (Miftachul, 2015)

B. Perbedaan Tata Nilai, Moral, Etika, dan Bioetika

1. Tata Nilai

Tata Nilai (*values*) mengacu pada kepentingan relatif yang akan dikaitkan dengan kualitas atau perilaku yang akan memengaruhi keputusan kita tentang "baik" atau "buruk" maupun "benar" atau "salah" (Nambisan, 2017). Sebagai contoh, seorang ilmuwan yang

tertarik menggunakan sel induk embrionik untuk menemukan cara-cara baru untuk mengobati penyakit mungkin menempatkan nilai yang lebih rendah untuk embrio, dibandingkan dengan seorang Kristen yang berlatih untuk siapa embrio sebagai manusia potensial lebih berharga daripada terapi yang diduga). Nilai bersifat intrinsik bagi seseorang atau komunitas dan oleh karena itu dapat berbeda dari satu orang atau komunitas ke komunitas lain, dan mencerminkan sikap atau niat

2. Moral

Moralitas adalah sistem publik informal yang berlaku untuk semua orang yang rasional, mengatur perilaku yang mempengaruhi orang lain, dan termasuk apa yang umumnya dikenal sebagai aturan moral, cita-cita, dan kebajikan dan memiliki pengurangan kejahatan atau bahaya sebagai tujuannya (Nambisan, 2017). Beberapa rambu yang perlu diperhatikan dalam mengkaji apakah pemanfaatan tanaman transgenik saat ini benar secara moral, yaitu (1) jangan hanya karena menguntungkan secara bisnis dan dalam jangka pendek; (2) mengubah desain alam secara tidak alami; (3) bagaimana masyarakat yang tidak diberi informasi lengkap dapat mengambil keputusan dengan benar; (4) jangan memberi tekanan/pemaksaan kepada petani/ konsumen agar menggunakan tanaman transgenik; dan (5) jangan manipulasi data (Nurchahyo, 2011).

3. Etika

Meskipun didefinisikan dengan berbagai cara, "etika" adalah studi filsafat moralitas atau aturan yang memandu perilaku kita.

Ini juga mencakup nilai-nilai dan prinsip-prinsip yang membentuk aturan perilaku (Nambisan, 2017). Ragam pengertian tentang etika. Etika adalah kegiatan memutuskan apa yang harus dilakukan, sebagai individu dan anggota masyarakat. Anggota masyarakat demokratis harus menawarkan setiap alasan lain yang menunjukkan mengapa salah satu cara untuk mengatasi masalah lebih baik dari yang lain.

Etika adalah kegiatan mencari alasan untuk mendukung pengambilan keputusan mengenai apa yang harus dilakukan (Solomon, Miller, Paget, Jablonski, & Doherty, 2009). Kamus Besar Bahasa Indonesia menyatakan etika adalah ilmu tentang apa yg baik dan apa yang buruk dan tentang hak dan kewajiban moral atau akhlak (KBBI). Dalam istilah sederhana, etika dapat dianggap sebagai panduan memisahkan yang benar dari yang salah dan yang baik dari yang buruk (Thieman & Palladino, 2013). Definisi lain, Etika merupakan satu cabang filsafat yang memperbincangkan tentang perilaku benar dan salah (*right and wrong*) dan baik dan buruk (*good and evil*), dan bahkan relasi-relasi sosial (*social relations*) dan makna keberagamaan (*religious meaning*) dalam hidup manusia (Asshiddiqie, 2015). Dengan kata lain etika merupakan “*self control*” untuk tahu benar dan salah, mana yang baik mana buruk, di mana salah satunya diaplikasikan terkait kegiatan riset biologi atau bioteknologi.

4. Bioetika

Bidang etika yang terutama berkenaan dengan implikasi penelitian biologi dan aplikasi bioteknologi biasanya dikenal dengan

istilah Bioetika (Thieman & Palladino, 2013). Pendapat sejenis menyatakan bioetika adalah subbidang etik yang mengeksplorasi pertanyaan etika yang terkait dengan ilmu kehidupan (Solomon *et al.*, 2009). Secara harfiah "bioetika" mengacu pada etika kehidupan, tetapi istilah tersebut sering dibatasi pada area di mana obat atau ilmu biomedis mempengaruhi kehidupan manusia dan kesejahteraan. (Nambisan, 2017).

Analisis bioetika membantu orang membuat keputusan tentang perilaku mereka dan tentang pertanyaan kebijakan bahwa pemerintah, organisasi, dan masyarakat harus menghadapi ketika mereka mempertimbangkan cara terbaik untuk menggunakan pengetahuan biomedis baru dan inovasi (Solomon *et al.*, 2009). Bioetika adalah ilmu hubungan timbal balik sosial (*quasi-social science*) yang menawarkan pemecahan terhadap konflik moral yang muncul dalam penelitian, pengembangan, dan pemanfaatan sumber daya hayati (Menristek, 2009).

Bioetika (*bioethics*) dalam riset, pengembangan dan pemanfaatan sumber daya hayati bertujuan untuk:memberikan pedoman umum etika bagi pengelola dan pengguna sumber daya hayati dalam rangka pemanfaatannya secara berkelanjutan. Berkaitan dengan hal tersebut, maka (1) pengambilan keputusan dalam meneliti, mengembangkan, dan memanfaatkan sumber daya hayati harus/wajib menghindari konflik moral dan seluas-luasnya digunakan untuk kepentingan manusia, komunitas tertentu, dan masyarakat luas, serta lingkungan hidupnya, dilakukan oleh individu, kelompok profesi, dan institusi publik atau swasta; (2) pemanfaatan sumber daya hayati tidak boleh menimbulkan dampak

negative terhadap harkat manusia, perlindungan dan penghargaan hak-hak asasi manusia, serta lingkungan hidup (3) hak, kewajiban dan tanggung jawab moral diberikan kepada para pengambil keputusan dalam hal riset, pengembangan dan pemanfaatan sumber daya hayati (Menristek, 2009).

Bioetika berhubungan dengan identifikasi terhadap pendekatan-pendekatan ilmiah yang baik dan benar serta dapat dibenarkan seperti mengenai *euthanasia*, atau alokasi sumber-sumber daya kesehatan yang langka, atau tentang penggunaan organ-organ tubuh manusia dalam penelitian dan praktik kesehatan. Beberapa di antaranya, misalnya abolisionisme (*bioethics*), yaitu satu aliran pemikiran dan gerakan yang membolehkan pemakaian Bioteknologi untuk memaksimalkan kebahagiaan dan mengurangi penderitaan. Ada pula etika kloning (*ethics of cloning*), *veterinary ethics*, *utilitarian bioethics*, dan *neuroethics* (Asshiddiqie, 2015).

C. Prinsip-prinsip Bioetika

Bioetika menyelidiki dimensi etis dari masalah-masalah bioteknologi dan sejauh diterapkan pada kehidupan. Dilema etika muncul ketika masalah atau situasi penting memerlukan pertimbangan cermat dan berpikir untuk membuat apa yang percaya menjadi keputusan etis. Prinsip-prinsip bioetika sumber daya hayati yang diamanatkan dalam Kepmenristek No. 112/M/KP/X/2009, yaitu: (1) pemanfaatan sumber daya hayati harus lebih memprioritaskan kepentingan kemanusiaan dari pada kepentingan ilmu pengetahuan dan teknologi semata ataupun kelompok masyarakat tertentu, dan (2) penelitian sumber daya hayati harus memperhatikan nilai agama,

sosial, budaya dan estetika serta tetap menjaga keberpihakan pada lingkungan hidup (Menristek, 2009).

United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO) dalam dokumen *Universal Declaration on Bioethics and Human Right* (UDBHR) 2005 menyatakan beberapa prinsip-prinsip bioetika, antara lain nya meliputi (1) martabat manusia dan hak-hak asasi manusia; (2) manfaat dan cedera; (3) otonomi dan tanggung jawab perorangan; (4) kesepakatan; (5) orang tanpa kemampuan untuk bersepakat; (6) hormat pada kerawanan manusia dan integritas pribadi; (7) masalah pribadi dan kerahasiaan; (8) kesamaan, keadilan dan pemerataan; (9) nondiskriminasi dan nonstigmatisasi; (10) hormat pada keragaman budaya dan pluralisme; (11) solidaritas dan kerja sama; (12) tanggungjawab sosial dan kesehatan; (13) melindungi generasi mendatang; dan (14) perlindungan lingkungan hidup, biosfera dan keragaman hayati (UNESCO, 2005). Pendapat lain menyatakan, bioetika secara umum mengenal tiga prinsip utama yakni: (1) respek terhadap hidup dan kehidupan, (2) perlunya keseimbangan antara resiko dan manfaat, (3) adanya suatu kesepakatan bahwa etik tidak sesederhana alamiah (Budi, 2010).

D. Manfaat Bioetika

Bioetika bermanfaat dalam membatu memecahkan masalah bioetika yang muncul di abad 21, di berbagai bidang kegiatan dan keilmuan serta kemanusiaan. Ada empat alasan pentingnya mengajarkan bioetika (1) memajukan peserta didik pemahaman

ilmu pengetahuan; (2) mempersiapkan peserta didik untuk membuat informasi, pilihan bijaksana; (3) mempromosikan dialog hormat di antara orang dengan berbagai pandangan; dan (4) mengembangkan keterampilan kritis-penalaran (Solomon *et al.*, 2009). Kemajuan di bidang bioteknologi sendiri selain menumbuhkan potensi yang menguntungkan pasti juga menimbulkan dampak sosial, ekonomi dan lingkungan yang besar. Kegiatan Riset, pengkajian dan aplikasi bioteknologi di bidang peternakan mutlak diperlukan norma-norma dan etika guna memberikan rambu-rambu pengaman dan sekaligus untuk mengawal perkembangan bioteknologi.

E. Hewan dan Etika Riset

1. Peranan Hewan terkait Riset

Hewan digunakan dalam penelitian karena hewan memiliki banyak peran dalam mencegah penderitaan manusia, sehingga penelitian dengan menggunakan hewan merupakan kunci untuk sebagian besar terobosan dalam abad terakhir. Berikut adalah beberapa contoh peran dari hewan:

1. Tanpa vaksin polio, yang dikembangkan dengan menggunakan hewan, ribuan anak-anak dan orang dewasa akan meninggal atau menderita, dengan adanya vaksin polio ini maka melemahkan efek samping dari penyakit ini setiap tahun.
2. Tanpa dialisis, yang diuji pada hewan, puluhan ribu pasien yang menderita penyakit ginjal stadium akhir akan mati.
3. Tanpa teknik operasi katarak, yang disempurnakan pada hewan, lebih dari satu juta orang akan kehilangan satu mata.

Penelitian hewan juga bermanfaat secara langsung bagi kesehatan:

1. Bioteknologi telah mengembangkan 111 USDA yang disetujui oleh biologis yaitu hewan yang mengobati penyakit hati, arthritis, parasitis, alergi, dan penyakit jantung.
2. Penelitian pada hewan juga menghasilkan vaksin yang dokter hewan gunakan setiap hari untuk mencegah rabies dan HIV.

Dari hasil penelitian yang dilakukan pada hewan, juga dapat diketahui peringatan bahwa ibu hamil tidak boleh mengkonsumsi obat-obat tertentu yaitu obat dengan efek samping yang tak terduga *fnasteride (Propecia)*, yang digunakan untuk mendorong pertumbuhan rambut yang ketika obat tersebut diuji pada hewan maka keturunan laki-laki yang lahir dari ibu hewan yang diberikan obat dengan dosis tinggi maka lahir keturunan yang cacat yang serius (malformasi organ reproduksi).

2. Standar Perlakuan Penggunaan Hewan

Penelitian hewan sangat diatur dalam UU Kesejahteraan Hewan federal yang menetapkan standar khusus tentang perumahan, makan, kebersihan, dan perawatan medis hewan riset. Sebelum penelitian menggunakan hewan dimulai, penulis dituntut untuk membuktikan kebutuhan untuk mempekerjakan hewan, misalnya Babi Guinea mendapat injeksi untuk kegiatan eksperimental. Mereka juga harus memilih spesies yang paling sesuai dan menyusun rencana untuk menggunakan hewan sesedikit mungkin. Instansi pemerintah secara rutin memantau kondisi di laboratorium. untuk menerima dana untuk penelitian dari *National Institutes of Health (NTH)*, FDA,

atau Pusat Pengendalian dan Pencegahan Penyakit, Penulis harus mengikuti standar pelayanan yang ditetapkan dalam Panduan untuk Perawatan dan Penggunaan Laboratorium Hewan, yang dirumuskan oleh *National Academy of Science (NAS)*. Mengingat biaya Riset, ketersediaan dana hibah dari badan-badan itu penting; sehingga sebagian besar lembaga sangat ingin mengikuti pedoman. Para Penulis bertugas mencapai “Tiga Rs” penelitian hewan yaitu:



Gambar 5.2 Babi Guinea mendapat injeksi eksperimental.
Sumber: (Crawford, 2018)

1. *Reduce*. Maksudnya mengurangi jumlah spesies yang lebih tinggi (kucing, anjing, primata) yang digunakan.
2. *Replace*. Maksudnya mengganti hewan dengan model alternatif bila memungkinkan.
3. *Refine*. Maksudnya memperbaiki tes dan percobaan untuk memastikan kondisi yang paling manusiawi mungkin.

F. Penguatan STEM

Jawablah pertanyaan-pertanyaan berikut terkait Bioteknologi hewan untuk merangsang pemikiran kritis tentang isu-isu etis yang terlibat dalam penggunaan bioteknologi hewan:

1. Sains

Apakah dapat diterima untuk menciptakan hewan yang tidak merasakan sakit melalui penggunaan Bioteknologi hewan? Mengapa atau mengapa tidak?

- a. Apa manfaat dan kepada siapa?
- b. Bagaimana dengan konsep “telos,” atau sifat sejati hewan? Membuat binatang yang tidak mampu merasakan sakit bertentangan telos hewan. Apakah ini dapat diterima?

2. Teknologi Informasi dan Rekasaya (Enjinering)

Carilah dan bacalah 3 (tiga) sumber informasi dari jurnal tentang sebuah “Isu seekor hewan telah digunakan untuk membuat obat baru yang menjanjikan untuk pengobatan berbagai jenis kanker”. Namun, proses yang terlibat mungkin membawa rasa sakit untuk hewan yang digunakan untuk membuat obat.

- a. Apakah ini dapat diterima mengingat hasil akhirnya? Mengapa boleh atau mengapa tidak?
- b. Haruskah kita membuat hewan tidak mampu nyeri dalam kasus ini? Mengapa atau mengapa tidak?

3. Matematika

Perusahaan Anda bergerak dalam bidang bioteknologi telah mulai untuk mengajukan dan menerima paten untuk melindungi investasi yang mahal. Rata-rata investasi perusahaan-perusahaan ini mendapatkan keuntungan sebesar 55 juta rupiah selama tujuh sampai sembilan tahun.

- a. Berdasarkan biaya ini, seharusnya perlukah perusahaan dapat mematenkan organisme hidup? Mengapa perlu atau mengapa tidak?
- b. Alternatif Apa yang bisa Anda pikirkan untuk sistem paten?

G. Latihan Soal

1. Bagaimana kita bisa membuat keputusan yang bijaksana tentang Bioteknologi?
2. Perkembangan Bioteknologi terus meningkat, sejalan dengan peningkatan kebutuhan pangan masyarakat. Menurut kamu apa dampak negatif dengan penerapan Bioteknologi
3. Siapa yang harus mendapatkan untuk memutuskan apakah petani ingin menanam transgenik?
4. Apakah etis bagi negara-negara maju untuk mengadopsi kebijakan yang memengaruhi apakah atau tidak berkembang negara bisa menanam transgenik?

BAB VI

BIOTEKNOLOGI DAN PEMBELAJARANNYA

DESKRIPSI, Bab ini mengingatkan mahasiswa tentang bioteknologi dan pembelajarannya.

TUJUAN PEMBELAJARAN, Setelah mempelajari buku ini, mahasiswa diharapkan dapat (1) menjelaskan pentingnya bioteknologi harus diajarkan di sekolah; dan (3) mendesain pembelajaran dengan bentuk *chapter design* terkait bioteknologi di sekolah.



Gambar 6.1 Aplikasi Pembelajaran Bioteknologi.

Keperluan untuk hidup lebih penting dibanding pengetahuan. Mengajar Bioteknologi dapat menunjukkan peserta didik bagaimana menjadi warga negara literet dengan memberi mereka pengetahuan untuk membuat keputusan tentang bioteknologi dalam peran mereka sebagai pemilih dan pemimpin masa depan bangsa

A. Urgensi Bioteknologi Diajarkan di Sekolah

Mengajar Bioteknologi dapat menunjukkan peserta didik bagaimana menjadi warga negara literet dengan memberi mereka pengetahuan untuk membuat keputusan tentang bioteknologi dalam peran mereka sebagai pemilih dan pemimpin masa depan bangsa (Lazaros & Embree, 2016). Di samping itu, saat ini kita berada pada abad 21 yang ditandai dengan perkembangan teknologi yang pesat, sehingga sains dan teknologi merupakan salah satu landasan penting dalam pembangunan bangsa. Pembelajaran sains diharapkan dapat menghantarkan peserta didik memenuhi kemampuan abad 21. Untuk mampu berpartisipasi dalam masyarakat berbasis pengetahuan yang ekonominya berubah semakin cepat tersebut, maka anggotanya harus: (a) memiliki kemampuan dalam mengumpulkan, memilah, memroses dan menginterpretasikan data dan informasi; (b) mempunyai kemampuan konseptual, analisis, sintesis, komunikasi, keterampilan pengelolaan diri dan keterampilan pengelolaan antar personal; (c) menguasai dasar-dasar ilmu pengetahuan dan keterampilan berkarya; dan (d) mau dan mampu belajar sepanjang hayat sebagai gaya hidup (Amin, 2015).

Pendidikan bagi anak (peserta didik) adalah suatu proses tentang apa yang dilihat, didengar, dirasakan, dialami, detik demi detik, dari hari ke hari sepanjang tahun (Amin, 2015). Aspek yang perlu diperhatikan dan ditekankan dalam pembelajaran adalah: logika (olah pikir), kinestika (olah badan), etika (olah rasa (kesantunan)) dan estetika (olah rasa (keindahan)).

B. Bagai Cara untuk Mengajar Bioteknologi di Jenjang SMP

Pendidikan bagi anak atau peserta didik adalah suatu proses tentang apa yang *dilihat, didengar, dirasakan, dialami*, detik demi detik, dari hari ke hari sepanjang tahun. Aspek yang perlu diperhatikan dan ditekankan dalam pembelajaran adalah: logika (olah pikir), kinestika (olah badan), etika (olah rasa/kesantunan) dan estetika (olah rasa/keindahan) untuk mengembangkan sepuluh kecerdasan: bahasa/*word smart* (pandai mengolah kata-kata), ruang/*spatial smart* (pandai mempersepsi apa yang dilihat), musik/*music smart* (peka dalam ber-musik), logik-matematik/ *logic smart* (pandai dalam logika dan matematika), kinestik/*body smart* (trampil dalam olah tubuh dan gerak), *intrapersonal/self smart* (peka dalam mengenali emosi diri sendiri), *interpersonal* (peka terhadap pikiran dan perasaan orang lain), *nature smart* (pandai dan peka dalam mengamati alam), *existence smart* (pandai dan peka akan makna keberadaan manusia dalam hidup ini) dan *spiritual smart* (Mohamad Amin, 2015). Demikian pula, mengajar bioteknologi harus fokus pada efek bahwa peserta didik dapat memiliki di lapangan serta efek yang dapat memiliki pada mereka, karena ini mendorong mereka untuk menjadi lebih termotivasi dan memiliki pendapat yang lebih seimbang tentang bioteknologi (Lazaros & Embree, 2016).

C. Pembelajaran Bioteknologi Melalui Penyelidikan Ilmiah

Era globalisasi adalah proses yang berkelanjutan, yang setiap individu harus mengikuti perubahan agar tidak ketinggalan

(Hariastuti, Prawitasari, Handarini, & Atmoko, 2017). Terdapat lima kompetensi terpenting di era digital adalah pemikiran kritis, pemecahan masalah, komunikasi, kerja tim, dan kreativitas. Jika kompetensi semacam itu terus berkembang di masyarakat, maka secara ber fase kita akan menjadi masyarakat terdidik yang selalu berpikir kritis dan kreatif (Samani, 2017). Dengan mengetahui pentingnya pengembangan pemikiran yang kritis dan kreatif, peserta didik yang merupakan bagian tidak terpisahkan dari proses pendidikan perlu memiliki suatu pengalaman dan lingkungan yang mendukung dikembangkannya pemikiran yang kritis dan kreatif tersebut (Mawardi *et al.*, 2018), yang dikembangkan menggunakan pembelajaran berbasis riset.

Sejalan uraian di atas, kunci dasar untuk menghasilkan dinamika pertumbuhan ekonomi berbasis pengetahuan berawal dari penguatan pendidikan dalam ilmu pengetahuan alam. yang merupakan basis dari *technological* dan *scientific advancement* dan membiasakan peserta didik melakukan kegiatan keilmuan (*science*) dimulai dari lingkungan sekitarnya (*daily life*). Artinya bekerja dan berpikir dengan menggunakan metode dan pendekatan ilmiah, baik urutan langkah maupun prosesnya, secara induktif maupun deduktif sesuai dengan tingkat keilmuan masing-masing (Mohamad Amin, 2015). Mengajar peserta didik tentang Bioteknologi dan manfaatnya dan risiko akan membantu mereka untuk menjadi warga negara yang bertanggung jawab. Selain itu, bioteknologi menjadikan konsumen teknologi dengan memberi mereka keterampilan yang dibutuhkan untuk mempertimbangkan keterbatasan etika teknologi (Lazaros & Embree, 2016). Belajar tentang bioteknologi dan etika yang terlibat

mengajarkan mereka tentang perlunya untuk mempertimbangkan konsekuensi jangka panjang dari menggunakan teknologi baru dan inovasi.

Abad 21 peran ilmu pengetahuan (*scientific knowledge*) menjadi semakin dominan dalam bermasyarakat global. Masyarakat yang perikehidupannya bertumpu pada ilmu pengetahuan dikenal sebagai “masyarakat berbasis pengetahuan” (*knowledge-based society*) yang perekonomiannya semakin menuju ke ekonomi berbasis pengetahuan (*knowledge-based economy*), yaitu melalui kegiatan industri jasa maupun produksi yang berbasis pengetahuan (Amin, 2015). Perubahan ini telah meningkatkan kualitas hidup umat manusia.

D. Teknologi Informasi sebagai Sumber Belajar untuk Generasi Mendatang

Dunia kini tengah memasuki era revolusi industri 4.0 dengan teknologi informasi telah menjadi basis dalam kehidupan manusia (Kemristekdikti, 2018). Seturut dengan pandangan tersebut (Zhong, Xu, Klotz, & Newman, 2017) menyatakan bahwa generasi di era industri 4.0 memegang komitmen peningkatan fleksibilitas di bidang manufaktur, secara massal, dengan kualitas dan produktivitas yang lebih baik. Segala hal menjadi tanpa batas (*borderless*) dengan penggunaan daya komputasi dan data yang tidak terbatas (*unlimited*), karena dipengaruhi oleh perkembangan internet dan teknologi digital yang masif sebagai tulang punggung pergerakan dan konektivitas manusia dan mesin (Kemristekdikti, 2018). Imbasnya, perubahan pesat yang dialami masyarakat karena pesatnya perkembangan

teknologi informasi membawa banyak dampak pada kehidupan manusia, secara umum bersifat positif dan negatif (Hariastuti *et al.*, 2017).

Prospek ke depan, terdapat indikasi bahwa perkembangan penerapan bioteknologi dalam segala bidang kehidupan akan semakin meningkat dengan didukung oleh penemuan-penemuan baru dan penerapan metode-metode baru (Nurchahyo, 2011). Dengan pandangan ini Biologi menjadi memiliki “banyak pengetahuan” dan lahirlah cabang-cabang Biologi dengan kajian yang lebih spesifik, misal adanya Program Studi Molekuler Biologi, *Human Genom Project* (program Pemetaan Genom Manusia), situs khusus untuk hasil-hasil penelitian berbasis molekuler *National Centre Biotechnology Information* (NCBI) (Mohamad Amin, 2015). Dengan demikian, sistem biologi adalah sistem yang kompleks, sehingga membuat orang mampu melakukan diskusi dengan mudah, sementara rasa ingin tahu sangat tinggi. Hal ini berakibat, dicari cara agar pembahasan menjadi fokus, maka tubuh manusia dianggap sebagai suatu organisasi.

Di samping itu, mengembangkan literasi informasi merupakan salah satu keterampilan intelektual tingkat tinggi yang dibutuhkan untuk pengembangan dan kesuksesan akademis, profesional dan pribadi (Shao & Purpur, 2016). Pendapat lain menyatakan, literasi informasi berkaitan dengan kemampuan untuk mengidentifikasi kapan informasi dibutuhkan, dan kompetensi dan keterampilan untuk menemukan, mengevaluasi dan menggunakan informasi dalam membuat keputusan berdasarkan informasi (Ukachi, 2015). Dengan demikian, literasi informasi adalah keterampilan penting

untuk mengambil, menilai, dan memberikan informasi yang tepat untuk menumbuhkan kompetensi informatika pada mahasiswa.

E. Komunikasi Sains sebagai Tuntutan

Ilmu biologi memiliki lahan yang sangat besar untuk dikembangkan di Indonesia, negara dengan sumber daya hayati terbesar di dunia. Kemajuan teknologi informasi dan komunikasi (TIK) melahirkan bioinformatika yang memacu perkembangan ilmu biologi lebih cepat daripada sebelumnya (Witarto & Sajidan, 2010). Pekerjaan di Abad 21 tidak lagi pekerjaan sederhana yang dikerjakan secara individu. Pekerjaan di Abad 21 cenderung kompleks rumit dan membutuhkan kolaborasi berbagai ahli (Sudira, 2015). Untuk itu, bekerja pada abad ke-21 membutuhkan kreativitas berpikir dan bekerja dengan cara berkolaborasi dengan orang-orang dari berbagai disiplin kerja dan sosial dan budaya kerja yang berbeda. Keterampilan berkomunikasi dalam bahasa lisan atau tertulis melalui berbagai media (multimedia) menjadi sangat penting.

F. Bioteknologi dan Pendidikan Karakter

Menyiapkan lulusan berkualitas yang mampu bersaing secara global, dan menguasai perkembangan teknologi merupakan hal yang penting untuk semua orang dan penting bagi masa depan suatu negara (Kanematsu & Barry, 2016). Supaya mampu berpartisipasi dalam masyarakat berbasis pengetahuan yang ekonominya berubah semakin cepat tersebut, maka anggotanya harus: (a) memiliki kemampuan dalam mengumpulkan, memilah, memroses dan menginterpretasikan data dan informasi; (b) mempunyai kemampuan konseptual, analisis,

sintesis, komunikasi, keterampilan pengelolaan diri dan keterampilan pengelolaan antar personal; (c) menguasai dasar-dasar ilmu pengetahuan dan keterampilan berkarya; d) mau dan mampu belajar sepanjang hayat sebagai gaya hidup (Amin, 2015).

G. Bioteknologi dan Penanaman Nilai Spiritual

Mengemas keterpaduan antara isi materi, metode mengajar dan penanaman nilai spiritual maka dalam pembelajaran Biologi perlu dikembangkan *Science spirituality* agar pembelajaran menjadi lebih menyenangkan. *Science spirituality* adalah materi sains (Biologi) yang dapat menumbuhkan kecakapan spiritual. Sebagai contoh: ketika belajar tentang sistem tubuh tentang pencernaan, banyak dipelajari bagaimana proses pencernaan bahan makanan menjadi nutrisi yang siap dipergunakan untuk memproduksi energi. Proses alamiah yang sangat rapi dan teratur pasti. Dengan mengetahui proses normal itu kita harus selalu menjaga agar tidak makan makanan yang berpotensi tidak baik bagi tubuh seperti diajarkan oleh agama (Amin, 2015). Kalau ada makanan yang tidak tepat untuk tubuh, mekanisme normal tubuh secara otomatis akan terganggu. Sebagai contoh ketika seseorang minum alkohol atau narkoba yang dilarang agama

H. Latihan dan Penguatan STEM

Buatlah perencanaan pembelajaran bioteknologi untuk jenjang sekolah menengah pertama (SMP) dengan menintegrasikan STEM.

DAFTAR RUJUKAN

- Aditya, A. P. (2018). Kontribusi aplikasi medis dari ilmu bioinformatika berdasarkan perkembangan pembelajaran mesin. *Opini*, 45(9), 700-703. Retrieved from <https://www.researchgate.net/publication/327589952>
- Aditya, A. P., Anurogo, D., & Arief, R. P. (2017). Pemanfaatan bioinformatika dalam bidang pertanian dan kesehatan. *Menara Perkebunan*, 85(2), 105-115. doi:10.22302/iribb.jur.mp.8v5i2.257
- Adriani, Rosadi, B., & Depison. (2008). Jumlah dan kualitas embrio sapi brahman cross setelah pemberian hormon FSH dan PMSG. *Animal Production*, 11(2), 96-102.
- Ahmad, A. (2014). Laporan hibah penulisan buku ajar mata kuliah bioteknologi dasar (pp. 1-168). Makasar: Universitas Hasanuddin
- Alsabrina. (2018). Tak cuma kecap manis, ini jenis-jenis kecap dan cara membuatnya sendiri. Retrieved from <http://nova.grid.id/read/051250484>
- Amin, M. (2015). *Biologi sebagai sumber belajar untuk generasi masa kini dan mendatang yang berintegritas dan berperadaban tinggi*. Pidato Pengukuhan Jabatan Guru Besar

dalam Bidang Ilmu Biologi pada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Disampaikan dalam Sidang Terbuka Senat Universitas Negeri Malang Tanggal 17 September 2015. Malang, Indonesia.

Anggriawan, R. (2017). *Microbiological and Food Safety Aspects of Tempeh Production in Indonesia*. (International Ph.D), Georg-August-University Göttingen, Germany.

Arief, R. P. (2012). Bioteknologi Tanaman Karet untuk Indonesia. 1-15. doi:10.13140/RG.2.1.2215.0160

Asshiddiqie, J. (2015). *Dinamika perkembangan sistem norma menuju terbentuknya sistem peradilan etika*. Makalah ini disampaikan untuk pembekalan bagi para calon Hakim Agung yang diselenggarakan oleh Komisi Yudisial. Jakarta.

Attwood, T. K., Blackford, S., Brazas, M. D., Davies, A., & Victoria, M. S. (2017). A global perspective on evolving bioinformatics and data science training needs. *Briefings in Bioinformatics*, 1-7. doi:10.1093/bib/bbx100

Audi, G. P. (2017). Symomath 2017 : Advancing the Life through Mathematics. Retrieved from <http://bit.ly/2rt0C5h>

Azam, M., Mohsin, M., Ijaz, H., Ruqia Ume Tulain, Adnan, M. A., Fayyaz, A., . . . Kamran, Q. (2017). Lactic acid bacteria in traditional fermented Asian foods. *Pakistan journal of pharmaceutical sciences*, 30(5), 1803-1814. Retrieved from <https://www.researchgate.net/publication/319159514>

- Balia, R. L., & Utama, G. L. (2017). The occurrence of yeasts and functional properties of Indonesian ethnic fermented foods and beverages. *Scientific Papers. Series D. Animal Science.*, 9, 303-307.
- Bao, L., Li, Y., Wang, Q., Han, J., Yang, X., Li, H., . . . Liu, H. (2013). Nutritive and bioactive components in rice fermented with the edible mushroom *Pleurotus eryngii*. *An International Journal on Fungal Biology*, 4(2), 96-102. doi:10.1080/21501203.2013.816386
- Bartlett, A., Lewis, J., & Williams, M. L. (2016). Generations of interdisciplinarity in bioinformatics. *New Genetics and Society*, 35(2), 186-209. doi:10.1080/14636778.2016.1184965
- Budi, E. M. (2010). Bioetika dalam perspektif Islam sebagai pengawal perkembangan biologi modern. *Ulul Albab*, 13(2), 198-208.
- Clark, P. A. (2012). *Contemporary Issues In Bioethics*. Rijeka, Croatia: InTech.
- Cobo, A. M., Gálvez, A., Raj, A., Chauhan, A., Das, A. G., Yee, F. C., . . . Bira, Z. M. (2016). Indigenous Fermented Foods of South Asia, an Overview. In V. K. Joshi (Ed.), *Indigenous Fermented Foods of South Asia* (pp. 1-67). Boca Raton CRC Press
- Crawford, C. A. (2018). *Principles of Biotechnology*. New York: Salem Press.

- Feradis, M. P. (2010). *Bioteknologi Reproduksi pada Ternak*. . Bandung: Alfabeta.
- Godbey, W. T. (2014). *An Introduction to Biotechnology*. London: Academic Press
- Goh, W. W. B., & Sze, C. C. (2018). AI Paradigms for Teaching Biotechnology. *Trends in Biotechnology*. doi:10.1016/j.tibtech.2018.09.009
- Guilford B. R., & Strickland, D. (2008). *The Guide to Bioteknologi is Compiled by the Bioteknologi Industry Organization (BIO)*.
- Gupta, V., Sengupta, M., Prakash, J., & Charan, B. T. (2017). *Basic and Applied Aspects of Biotechnology* (1 ed.). Singapore: Springer Nature.
- Hajeb, P., & Jinap, S. (2015). Umami taste components and their sources in Asian foods. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 55(6), 778-791. doi:10.1080/10408398.2012.678422
- Hariastuti, R. T., Prawitasari, J. E., Handarini, D. M., & Atmoko, A. (2017). The development of critical thinking skills based of patrap triloka's Ki Hadjar Dewantara. *International Journal of Development Research*, 7(7), 13606-13611. Retrieved from <http://www.journalijdr.com/sites/default/files/issue-pdf/9171.pdf>
- Hidayat, N., Masdiana, C. P., & Sri, S. (2006). *Mikrobiologi Makanan*. Yogyakarta: ANDI.

- Irfan, I., Wahjuningsih, S., & Susilawati, T. (2017). Pengaruh karakteristik lendir servik sebelum inseminasi buatan (ib) terhadap keberhasilan kebuntingan sapi komposit. *Jurnal Ternak Tropika*, 18(1), 10-14. doi:10.21776/ub.jtapro.2017.018.01.2
- Kanematsu, H., & Barry, D. M. (2016). *STEM and ICT Education in Intelligent Environments*. London: Springer International Publishing Switzerland.
- Kemristekdikti. (2018). Pengembangan Iptek dan Pendidikan Tinggi di Era Revolusi Industri 4.0. Retrieved from <http://bit.ly/2NIgvh0>
- Langlois, A. (2014). The UNESCO Bioethics Programme: a review. *New Bioeth*, 20(1), 3-11. doi:10.1179/2050287714Z.00000000040
- Lazaros, E., & Embree, C. (2016). A case for teaching biotechnology. *Technology and engineering teacher*, 8-10.
- Lee, M. C., Field, L., Schmidt, J., Scritchfield, R., & Toner, C. (2013). *Food biotechnology: A communicator's guide to improving understanding*. California: International Food Information Council Foundation.
- Maria, A. H., & Mihai, A. G. (2018). *Advances in Biotechnology for Food Industry* (Vol. 14). London: Elsevier.
- Mawardi, Widyanti, E., Kurniawan, M., Radia, E. H., Airlanda, G. S., Wardani, K. W., & Ratna, R. W. (2018). *Term of*

Reference (TOR) Institutional Grants Program United Board for Christian Higher Education in Asia Best Practice in Research-based Teaching and Learning for Creative and Critical Thinking Skills. Pendidikan Guru SD. Universitas Kristen Satya Wacana. Salatiga.

Menristek. (2009). *Keputusan Menteri Negara Riset dan Teknologi Nomor 112 /M/Kp/X/2009 Tentang Pedoman Umum Bioetika Sumber Daya Hayati.* Jakarta Retrieved from <http://jdih.ristekdikti.go.id/v0/?q=perundangan/konten/252>.

Miftachul, A. H. (2015). *Kajian pengetahuan bioetika dan kemampuan pengambilan keputusan etis mahasiswa calon guru biologi.* Paper presented at the Seminar Nasional Pendidikan Biologi 2015, yang diselenggarakan oleh Prodi Pendidikan Biologi FKIP Universitas Muhammadiyah Malang, tema: “Peran Biologi dan Pendidikan Biologi dalam Menyiapkan Generasi Unggul dan Berdaya Saing Global”, Malang, 21 Maret 2015., Malang. <http://bit.ly/2P2b3WQ>

Mohamed, N. B., Suryawati, E., & Osman, K. (2014). Students' biotechnology literacy: The pillars of STEM education in Malaysia. *Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education*, 10(3), 195-207. doi:10.12973/eurasia.2014.1074a

Nambisan, P. (2017). *An Introduction to Ethical, Safety and Intellectual Property Rights Issues in Biotechnology.* London Academic Press.

- Nurchahyo, H. (2011). *Diktat Bioteknologi*. Jurusan Pendidikan Biologi, Universitas Negeri Yogyakarta., Yogyakarta.
- Ondřej, V., & Dvořák, P. (2012). Bioinformatics: a history of evolution in silico. *Journal of Biological Education*, 46(4), 252-259. doi:10.1080/00219266.2012.716776
- Pangastuti, A., Amin, M., & Endah, S. I. (2016). Pengembangan Buku Ajar Biologi Sel dengan Pendekatan Bioinformatika. *Jurnal Pendidikan: Teori, Penelitian, dan Pengembangan*. Retrieved from <https://www.researchgate.net/publication/303653376>
- Prakash, J. T. (2016). *Ethnic Fermented Foods and Alcoholic Beverages of Asia*
- Pratiwi, R. D., Pratiwi, R. H., & Noer, S. (2017). Mproving biology teacher competency through training use of bioinformatic applications. *Qardhul Hasan: Media Pengabdian kepada Masyarakat*, 3(2), 153-160.
- Rahayu, E. S., Yogeswara, A., Utami, T., & Suparmo. (2011). *Indigenous probiotic strains of indonesia and their application for fermented food*. Paper presented at the the 12th asean food conference 2011, 16 -18 June, 2011, Bangna, Bangkok, Thailand.
- Redi, W. A. (2010). Traditional fermented foods in Indonesia. *Japanese Journal of Lactic Acid Bacteria*, 10(2), 90-102. doi:10.4109/jslab1997.10.90
- Samani, M. (2017). The role of education in cultivating character of professional leaders in 21st century. *Paper Presented on*

International Cadet Seminar at Indonesian Navy Academy, Surabaya-Indonesia, July 19, 2017. Retrieved from <http://bit.ly/2E2FzyK>

Satyanarayana, T., & Kunze, G. (2009). *Yeast Biotechnology: Diversity and Applications*: Springer Science.

Shao, X., & Purpur, G. (2016). Effects of information literacy skills on student writing and course performance. *The Journal of Academic Librarianship*, 42(6), 670-678. doi:10.1016/j.acalib.2016.08.006

Shurtleff, W., & Aoyagi, A. (2011). *History of tempeh and tempeh products (1815-2011): Extensively annotated bibliography and sourcebook*. Lafayette, CA: Soyinfo Center.

Solomon, M. Z., Miller, J. S., Paget, K. F., Jablonski, E., & Doherty, J. (2009). *Exploring Bioethics*. Chapel Street, Newton, MA: Education Development Center, Inc.

Sutarno. (2016). *Rekayasa genetik dan perkembangan bioteknologi di bidang peternakan*. Paper presented at the Seminar Nasional XIII Pendidikan Biologi FKIP Universitas Sebelas Maret, Solo.

Thieman, W. J., & Palladino, M. A. (2013). *Introduction to Biotechnology*. Boston: Pearson.

Ukachi, N. B. (2015). Exploration of information literacy skills status and impacts on the quality of life of artisans in Lagos, Nigeria. *New Library World*, 116(9/10), 578-587. doi:10.1108/nlw-01-2015-0006

- UNESCO. (2005). Universal Declaration on Bioethics and Human Right (UDBHR) 1-12.
- Usmiati, S. (2011). Yoghurt, minuman kesehatan tubuh. *Agroinovasi*, 3432.
- Villarreal-Soto, S. A., Beaufort, S., Bouajila, J., Souchard, J. P., & Taillandier, P. (2018). Understanding Kombucha Tea Fermentation: A Review. *Journal of Food Science*, 83(3), 580-588. doi:10.1111/1750-3841.14068
- Witarto, A. B., & Sajidan. (2010). *Bioinformatika: Trend Dan Prospek Dalam Mengembangkan Keilmuan Biologi*. Paper presented at the Seminar Nasional Pendidikan Biologi FKIP UNS 2010, Solo.
- Zhong, R. Y., Xu, X., Klotz, E., & Newman, S. T. (2017). Intelligent manufacturing in the context of industry 4.0: A review. *Engineering*, 3(5), 616-630. doi:10.1016/j.eng.2017.05.015
- Zubaidah, S., Mahanal, S., Yuliati, L., Dasna, I. W., Pangestuti, A. A., Puspitasari, D. R., . . . Robitah, A. (2015). *Buku Guru Ilmu Pengetahuan Alam/ Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan*. Jakarta: Pusat Kurikulum dan Perbukuan, Balitbang, Kemdikbud.

GLOSARIUM

- Antibiotik : Senyawa yang dihasilkan oleh suatu mikroorganisme untuk menghambat pertumbuhan mikroorganisme lain
- Antibodi : zat yg dibentuk dl darah untuk memusnahkan bakteri virus atau untuk melawan toksin yg dihasilkan oleh bakteri
- Asam amino : asam organik yg mengandung paling sedikit satu gugusan amino (NH₂) dan paling sedikit satu gugusan karboksil (COOH) atau turunannya, merupakan molekul dasar yg diikat satu sama lain melalui ikatan peptida dl pembentukan molekul protein yg lebih besar;
- Asam nukleat : senyawa antara gula pentosa, asam fosfat, dan basa nitrogen (ciri khas makhluk hidup)
- Aseton : zat cair tanpa warna yg mudah terbakar dan mempunyai bau serta rasa yg khas (dipakai sbg pelarut dl industri dan dl percobaan laboratorium); CH₃COCH₃
- Bakteri : makhluk hidup terkecil bersel tunggal, terdapat di mana-mana, dapat berkembang biak dng kecepatan luar biasa dng jalan membelah diri, ada yg berbahaya dan ada yg tidak, dapat menyebabkan peragian, pembusukan, dan penyakit;

- Biokimia : senyawa kimia dan proses kimia yg terdapat dl sel atau tubuh makhluk hidup
- Bioteknologi : teknologi yg menyangkut jasad hidup:-- *rekayasa genetik dan biologi molekul yg mendasarinya tidak cuma bergerak seputar manusia*
- Bir : minuman mengandung alkohol yg dibuat dng peragian lambat
- Enzim : molekul protein yg kompleks yg dihasilkan oleh sel hidup dan bekerja sbg katalisator dl berbagai proses kimia di dl tubuh makhluk hidup
- Fermentasi : penguraian metabolik senyawa organik oleh mikroorganisme yg menghasilkan energi yg pd umumnya berlangsung dng kondisi anaerobik dan dng pembebasan gas
- Genetika : cabang biologi yg menerangkan sifat turun-temurun
- Gliserol : cairan kental tidak berwarna dan tidak berbau, rasanya manis dapat bercampur dng air dan alkohol yg diperoleh dr lemak hewani atau nabati atau dr fermentasi glukosa, digunakan sbg bahan kosmetik, pengawet obat-obatan, pelembap buah-buahan atau tembakau
- Gula : bahan pemanis biasanya berbentuk kristal (butir-butir kecil) yg dibuat dr air tebu, aren
- Hama : hewan yg mengganggu produksi pertanian spt babi hutan, tupai, tikus, dan terutama serangga
- Hepatitis : radang hati

- Hidroponik : cara bercocok tanam tanpa menggunakan tanah, biasanya dikerjakan di kamar kaca dan menggunakan medium air yang berisi zat hara
- Industri : kegiatan memproses atau mengolah barang dan menggunakan sarana dan peralatan, misalnya mesin;
- Insulin : hormon yang dibentuk di pankreas yang mengendalikan kadar gula di darah
- Imobilisasi : pengubahan bentuk inorganik unsur hara menjadi bentuk organiknya sebagai hasil asimilasi unsur tersebut
- Interferon : peristiwa terjadinya proses replikasi jenis virus tertentu pada sel atau jaringan, yang sebagian atau seluruhnya tercegah sebagai akibat adanya interaksi antara sel atau jaringan itu dan virus lainnya
- Jamur : tumbuhan yang tidak berdaun dan tidak berbuah, berkembang biak dengan spora, biasanya berbentuk payung, tumbuh di daerah berair atau lembap atau batang busuk; cendawan; kulat;
- Kultur : pemeliharaan; pembudidayaan;
- Kanker : penyakit yang disebabkan oleh ketidakaturan perjalanan hormon yang mengakibatkan tumbuhnya daging pada jaringan tubuh yang normal; tumor ganas
- Karbohidrat : senyawa organik karbon, hidrogen, dan oksigen, terdiri atas satu molekul gula sederhana atau lebih yang merupakan bahan makanan penting dan sumber tenaga (banyak terdapat di tumbuhan dan hewan)
- Keju : bahan makanan yang dibuat dari sari air susu melalui proses peragian yang dikeraskan (dikentalkan)

- Kimia : ilmu tt susunan, sifat, dan reaksi suatu unsur atau zat;
- Limbah : sisa proses produksi
- Lipid : zat lemak yg tidak larut dl air, tetapi umumnya larut dl alkohol dan eter dan yg memberi rasa lemah
- Materi : bahan yg akan dipakai untuk membuat barang lain;
- Mikroba : organisme yg sangat kecil ukurannya sehingga untuk mengamatinya secara jelas diperlukan mikroskop
- Mikroorganisme: makhluk hidup sederhana yg terbentuk dr satu atau beberapa sel yg hanya dapat dilihat dng mikroskop, berupa tumbuhan atau hewan yg biasanya hidup secara parasit atau saprofit, msl bakteri, kapang, ameba
- Minyak : zat cair berlemak, biasanya kental, tidak larut dl air, larut dl eter dan alkohol, mudah terbakar, bergantung pd asalnya, dikelompokkan sbg minyak nabati, hewani, atau mineral dan bergantung pd sifatnya pd pemanasan dapat dikelompokkan sbg asiri atau tetap
- Modern : sikap dan cara berpikir serta cara bertindak sesuai dng tuntutan zaman
- Monomer : kelompok kecil molekul yg dapat dirangkaikan dan disebut polimer
- Mikrobiologi : ilmu tt seluk-beluk mikroba (bakteri, virus, protozoa, dsb) secara umum, baik yg bersifat parasit maupun yg penting bagi industri, pertanian, kesehatan, dsb

- Polimer : zat yg dihasilkan dng cara polimerisasi dr molekul yg sangat banyak dng satuan struktur berantai panjang, baik lurus, bercabang, maupun menyilang yg berulang, msl plastik, serat, karet, dan jaringan tubuh manusia;
- Prinsip : asas (kebenaran yg menjadi pokok dasar berpikir, bertindak, dsb); dasar;
- Protein : kelompok senyawa organik bernitrogen yg rumit dng bobot molekul tinggi yg sangat penting bagi kehidupan; bahan organik yg susunannya sangat majemuk, yg terdiri atas beratus-ratus atau beribu-ribu asam amino, dan merupakan bahan utama pembentukan sel dan inti sel; zat putih telur
- Riset : penyelidikan (Riset) suatu masalah secara bersistem, kritis, dan ilmiah untuk meningkatkan pengetahuan dan pengertian, mendapatkan fakta baru, atau melakukan penafsiran yang lebih baik;
- Sains : pengetahuan sistematis tt alam dan dunia fisik, termasuk di dalamnya, botani, fisika, kimia, geologi, zoologi, dsb; ilmu pengetahuan alam;
- Sake : arak Jepang, dibuat dari beras yg beragi, biasanya disajikan panas-panas;
- Sistem : perangkat unsur yg secara teratur saling berkaitan sehingga membentuk suatu totalitas
- Struktur : disusun dengan pola tertentu
- Substrat : senyawa yg mengalami perubahan oleh hasil kerja enzim; zat yang diubah oleh enzim

- Plasmid : DNA lain yang ingin dikembangkan di dalam bakteri yang dapat digabung dan dilepaskan dengan proses tertentu.
- Rekayasa Genetik: Mengambil gen dari suatu organisme dan menyisipkan gen tersebut pada organisme lain
- Stabilisasi : usaha atau upaya membuat stabil; penstabilan
- Tanah : permukaan bumi atau lapisan bumi yg di atas sekali:
- Teh : pohon kecil, tumbuh di alam bebas, daunnya berbentuk jorong atau bulat telur, pucuknya dilayukan dan dikeringkan untuk dibuat minuman (di pabrik dsb); *Camellia sinensis*;-
- Teknologi : metode ilmiah untuk mencapai tujuan praktis; ilmu pengetahuan terapan;
- Tembaga : logam yg berwarna kemerah-merahan sbg bahan baku spt kawat, periuk, atau uang
- Tembakau : tumbuhan berdaun lebar, daunnya diracik halus dan dikeringkan untuk bahan rokok, cerutu, dsb; *Nicotiana tabacum*;

INDEX

A

abad v, 1, 12, 13, 18, 19, 30, 34,
45, 74, 75, 81, 86
Acetobater xylinum 40
aerob 23
aerop 42
Agrobacter 47, 48
air 22, 23, 28, 40, 41, 58, 98,
99, 100
akal 13
akar 47, 48
alkohol 23, 25, 27, 28, 33, 34,
37, 38, 42, 87, 98, 100
anaerob 22, 25, 26, 28, 42
anaerobik 22, 98
analisis 11, 13, 15, 16, 42, 81,
86
anggur 21, 22, 25, 33, 37
antibiotik 3, 31, 44, 50
Antibiotik 4, 97
antibiotika 31
aplikasi vi, 7, 8, 9, 17, 21, 22,
71, 75, 88
asam 3, 14, 23, 24, 26, 27, 28,

29, 30, 32, 33, 36, 39, 40,
41, 42, 52, 97, 101
asam asetat 26, 27, 28, 33, 36,
41
asam folat 40
asam lemak 33, 40
atmosfer 28
awan 14

B

Bacillus megaterium 28
Bacillus subtilis 28
Bacillus thuringiensis 28, 52
bakteri 3, 4, 8, 24, 26, 27, 28,
36, 39, 40, 41, 42, 47, 52,
53, 58, 60, 97, 100, 102
Bakteri 27, 28, 29, 30, 39, 40,
47, 97
baku 10, 27, 28, 38, 58, 102
bangsa 61, 80, 81
barang 1, 3, 99, 100
basis 13, 14, 15, 16, 83, 84
berbasis 13, 14, 15, 16, 17, 18,
19, 81, 83, 84, 85, 86

bibit 46, 59
 bioaktif 30
 biodiesel 54
 bioengineering 7
 bioetika v, vi, 68, 69, 72, 73, 74, 93
 Biofuel 53, 54
 bioinformatika 7, 8, 14, 15, 16, 17, 86, 88
 Bioinformatika 14, 15, 16, 94, 96
 biokimia 8, 22
 biologi 2, 5, 7, 8, 13, 14, 15, 16, 17, 45, 63, 71, 85, 86, 90, 93, 98, 120
 biologis 7, 15, 16, 17, 18, 19, 58, 76
 biomatematika 17
 bionformatika 14
 bioplastik 45
 bioreaktor 64
 Biosteel 65
 bioteknologi v, vi, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 13, 17, 19, 20, 21, 34, 36, 38, 42, 43, 44, 45, 46, 53, 57, 58, 59, 67, 68, 71, 73, 75, 77, 78, 80, 81, 82, 83, 85, 87, 88, 95
 Bioteknologi v, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 12, 18, 19, 22, 26, 34, 37, 43, 44, 45, 52, 58, 59, 60, 63, 64, 66, 69, 73, 76, 77, 79, 80, 81, 82, 83, 86, 87, 89, 91, 94, 98, 119, 120
 bir 3, 21, 22, 25, 27, 29
 bisnis 13, 70
 Bividobacterium sp 28
 blog 20
 buku iv, v, vii, 1, 20, 21, 43, 57, 68, 80, 88
C
 cerdas 14
 comparative 13
 competitive 13
D
 daging 23, 29, 58, 62, 63, 64, 99
 dasar 7, 8, 12, 15, 19, 59, 60, 62, 81, 83, 87, 88, 97, 101, 120
 data 8, 14, 15, 16, 18, 70, 81, 84, 86, 89
 determinan 36
 diabetes 6, 19
 dinamika 17, 83
 disiplin 15, 17, 18, 86

DNA 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 34,
47, 48, 49, 50, 57, 60, 62,
64, 102

DNA-coated 48

domba 59, 60, 64, 65

dominan 14, 19, 55, 59, 84

E

efektif 18, 44

efisien 5, 7, 54

efisiensi 62

ekonomi 12, 13, 14, 18, 19, 75,
83, 84

eksperimen 9, 15, 16, 55

elsevier 20

embrio 48, 57, 60, 61, 62, 70,
88

energi 2, 5, 22, 23, 53, 54, 87,
98

ensiklopedia 20

enzim 9, 19, 28, 30, 34, 37, 43,
46, 51, 52, 53, 55, 60, 101

enzimatis 54

era 3, 18, 45, 83, 84

Era 3, 18, 82, 92

esensial 15, 60

estetika 74, 81, 82

etanol 5, 24, 25, 26, 31, 32, 33,
54

etika vi, 68, 69, 70, 71, 72, 73,
75, 81, 82, 83, 89

etis 69, 73, 77, 79, 93

etnis 26, 34

evolusi 7

F

fakta 12, 101

farmasi 7

fermentasi v, vi, 3, 4, 5, 11, 21,
22, 23, 24, 25, 26, 27, 28,
29, 30, 31, 32, 33, 34, 36,
37, 38, 39, 41, 42, 54, 98

Fermentasi 21, 22, 23, 24, 25,
26, 27, 29, 31, 33, 34, 35,
36, 37, 38, 39, 40, 41, 98

film 20

filmsafat 70, 71, 120

fitoremediasi 46

fleksibilitas 17, 84

fokus 17, 22, 82, 85

forensik 7

G

galur 25

gambar 17, 20

gandum 26, 45

gas 22, 38, 98

gawai 14

gaya vii, 38, 81, 87
gen 5, 6, 8, 11, 12, 44, 45, 46,
48, 49, 50, 52, 53, 57, 58,
60, 62, 64, 66, 102
gene guns 43, 46
genetik 5, 6, 7, 9, 10, 11, 46, 47,
48, 50, 53, 58, 60, 61, 62,
64, 66, 95, 98
genetika v, 1, 5, 6, 7, 8, 9, 11,
12, 20, 28, 50, 53, 57, 58,
60, 62, 66
genom 4, 16, 47
getah 55
gizi 2, 30, 35, 43
glikolisis 22, 23
global 14, 17, 18, 19, 84, 86, 89
glukosa 22, 32, 37, 98
gula 5, 25, 28, 37, 40, 41, 42,
54, 97, 99
gulma 53

H

hamil 76
herbisida 45, 53
hewan vi, 6, 12, 22, 28, 57, 58,
59, 60, 62, 63, 64, 66, 67,
68, 75, 76, 77, 78, 98, 99,
100
hibrid 46, 47

hibridisasi 45, 46
hidrogen 23, 99
hidup 2, 3, 5, 6, 22, 45, 64, 71,
73, 74, 78, 80, 81, 82, 84,
87, 97, 98, 100
hifa 30, 35
hormon 19, 44, 48, 58, 88, 99

I

ideal 47
ilmuwan 7, 8, 9, 18, 46, 53, 62,
63, 69
industri 3, 12, 14, 18, 19, 27,
29, 34, 35, 65, 84, 97, 100
informal 70
informatika 14, 15, 86
Inokulum 36
inovasi 13, 19, 38, 45, 72, 84
Insulin 6, 99
interdisipliner 15
Interferon 6, 99
Interleukin 6

J

jagung 54, 56
jamur 27, 29, 30, 35, 36, 37, 38
jasa 1, 2, 3, 5, 13, 14, 19, 84
Jawa 31, 34

K

kacang 38
kadar 25, 38, 99
kambing 59, 65
kamus 20
kandungan 36, 38
kanker 6, 19, 78
kapas 45
kasus 20, 78
keanekaragaman 7, 34
kecepatan 17, 31, 45, 97
kedelai 3, 34, 35, 38, 45, 53
kedokteran 7, 66
kehidupan 7, 10, 12, 13, 15, 17,
34, 68, 72, 73, 74, 84, 85,
101
keju 3, 5, 21, 22, 31, 33, 42
kelapa 27, 40, 41
kemasan 30
kepercayaan 17
kesehatan 15, 16, 30, 73, 74, 76,
88, 96, 100
kesejahteraan 3, 9, 15, 16, 59,
72
keterampilan 5, 18, 61, 75, 81,
83, 85, 87
khamir 22, 25, 27, 29, 30, 41
khlorofil 27

kimia 32, 33, 53, 54, 98, 101

kinestika 81, 82

klasik 45

Kloeckera apiculata 33

kloning 5, 10, 11, 60, 73

Kloning 63, 64

kloroplas 46, 49, 50

Kloroplas 50

kolaborasi 86

kombucha 34, 41, 42

kompetisi 18

kompleks 85, 86, 98

komputer 8, 16, 18, 19

komunikasi vi, 81, 83, 86, 87

konsekuensi 16, 84

konseptual 81, 86

krebs 23

krem 40

kuno 34, 38

L

Lactobacillus bulgaricus 40

Lactobacillus delbrueckii 39

laktoperin 58

laktosa 24, 39, 40

Lidah buaya 55

ligase 9, 34, 60

lingkungan 2, 3, 4, 7, 8, 10, 12,

22, 26, 27, 28, 34, 43, 44,

56, 72, 73, 74, 75, 83

lokal 38

lumpur 28

M

macronutrients 31

makanan v, 2, 3, 21, 22, 23, 24,
26, 29, 30, 31, 33, 34, 35,
36, 40, 41, 45, 87, 99

makhluk 2, 3, 5, 6, 64, 97, 98,
100

malformasi 76

manis 36, 38, 41, 42, 88, 98

manusia 1, 2, 3, 4, 5, 9, 10, 12,
13, 15, 16, 18, 22, 28, 29,
30, 34, 44, 45, 52, 56, 58,
60, 63, 64, 66, 67, 68, 69,
70, 71, 72, 73, 74, 75, 82,
84, 85, 98, 101

Melon 55

mendeley 20

Mentimun 55

mikroba 21, 22, 32, 40, 41, 48,
54

mikrobia 4, 5, 27, 28, 30, 31,
40, 41

mikrobiologi 8

mikroorganisme vi, 3, 5, 6, 22,
23, 26, 33, 34, 36, 98

minuman 21, 22, 23, 25, 26, 30,

33, 34, 37, 38, 41, 96, 98,
102

modifikasi 7, 10, 47, 54, 66

Molds 29

molekul 6, 9, 23, 47, 97, 98, 99,
100, 101

molekuler 5, 6, 7, 8, 9, 11, 12,
15, 16, 64, 85

moral 68, 69, 70, 71, 72, 73

Mucoraceae 29

Mucorales 29

multidisiplin v, 7, 20

N

nata de coco 27, 28, 40, 41, 42

Nenas 55

nitrogen 31, 32, 97

nukleat 14, 97

O

oksigen 22, 23, 31, 37, 99

oncom 31

organisme 1, 2, 3, 4, 6, 9, 10,
12, 16, 47, 60, 78, 100,
102

P

padat 27, 28, 41

padi 45

- panas 28, 101
 panen 44, 50
 pangan 1, 26, 27, 29, 30, 34, 36,
 37, 43, 44, 45, 79
 paten 20, 78
 penisilin 31, 34
 penyakit 6, 8, 10, 13, 17, 19, 43,
 44, 52, 60, 62, 63, 66, 70,
 75, 76, 97, 99
 Pepaya 55
 permen 30
 pertanian v, vi, 6, 7, 8, 12, 17,
 32, 43, 44, 45, 46, 52, 55,
 56, 88, 98, 100
 pestisida 45, 52
 peternakan v, vi, 7, 57, 58, 59,
 60, 62, 63, 67, 75, 95
 Pistol gen 48, 49
 plasmid 10, 47
 populer 29, 34, 41
 Prevalensi 45
 primer 33
 probiotik 28
 produksi 6, 14, 19, 25, 26, 27,
 28, 29, 33, 43, 44, 45, 54,
 58, 63, 66, 84, 98, 100
 proses vi, 2, 3, 5, 10, 13, 14,
 18, 21, 22, 23, 25, 26, 27,
 34, 35, 37, 38, 39, 46, 47,
 52, 53, 54, 58, 59, 60, 62,
 78, 81, 82, 83, 87, 98, 99,
 100, 102
 protein 5, 8, 14, 23, 26, 30, 32,
 36, 39, 40, 45, 52, 58, 63,
 64, 65, 66, 97, 98
 proteolitik 40, 43, 55
 protoplas 46, 47
- R**
- ragi 3, 23, 25, 26, 28, 29, 32,
 33, 36, 41
 reaktan 23
 recombinant DNA 5
 Reduce 77
 reference 20
 Refine 77
 rekayasa v, 1, 3, 6, 7, 9, 10, 11,
 12, 20, 28, 46, 47, 50, 53,
 57, 58, 59, 60, 62, 64, 66,
 67, 98
 rekayasa genetika v, 1, 7, 12,
 20, 28, 50, 53, 57, 58, 60
 rekombinasi 11
 Replace 77
 researchgate 20, 88, 89, 94
 respirasi 23
 Rhizopus 27, 29, 30, 35
 riset vi, 1, 7, 9, 13, 63, 71, 72,
 73, 76, 83

roti 3, 21, 22, 23, 25, 29, 30

63, 64, 65, 66, 99

S

Saccharomyces cerevisiae 5,
26, 27, 32, 33, 36, 38, 42

Saccharomyces roxii 27, 30

sains vi, vii, 3, 14, 17, 59, 66,
67, 81, 87

sampayan 21, 22

sciencedirect 20

sekon 14

sekunder 34

selulosa 28, 40, 41, 47, 51, 53

senyawa 16, 22, 31, 33, 54, 97,
98, 99, 101

serangga 43, 44, 52, 53, 98

serat 40, 45, 65, 101

spektrum 7

sperma 4, 61, 62

spesies 31, 46, 47, 57, 59, 66,
76, 77

spiritual vi, 82, 87

spora 31, 53, 99

springer 20

starter 36, 39, 40, 41

strain 32

Streptococcus thermophilus 40

substrat 24, 26, 33, 40

susu 23, 24, 27, 39, 40, 58, 62,

T

tanah 4, 22, 28, 47, 99

tanaman 4, 6, 10, 12, 28, 43, 44,
45, 46, 47, 48, 50, 51, 52,
53, 54, 55, 70

tandfonline 20

Tapai 27, 28, 36, 37

teknik 5, 6, 7, 9, 11, 14, 15, 17,
46, 47, 58, 61, 62, 64, 75

teknologi vi, 2, 3, 5, 7, 9, 10,
11, 12, 14, 17, 18, 19, 33,
44, 46, 60, 61, 62, 63, 64,
67, 69, 73, 81, 83, 84, 85,
86, 98

tekstur 36

tempe 5, 27, 30, 34, 35, 42

ternak 44, 58, 59, 61, 62, 63, 64,
66

tiamin 31

tradisional 4, 18, 26, 31, 34, 35,
36, 38, 41, 44, 53

transgenik vi, 43, 45, 46, 53, 56,
57, 58, 59, 62, 63, 64, 70,
79

transplantasi 60

tubuh 6, 28, 73, 82, 85, 87, 96,
98, 99, 101

tumbuhan vi, 43, 46, 48, 49, 50,
64, 99, 100, 102

tunas 47, 48

U

unggul 12, 17, 46, 59, 61, 62

unggulan 13

uniseluler 27, 29

V

vaksin 19, 45, 52, 75, 76

vakuola 32

virus 6, 52, 97, 99, 100

W

warna 31, 36, 97

web 20

wine 27, 29, 38

Y

yeast 5, 32

Yoghurt 39, 96

Z

zotero 20

Zygomycota 29

BIOGRAFI PENULIS



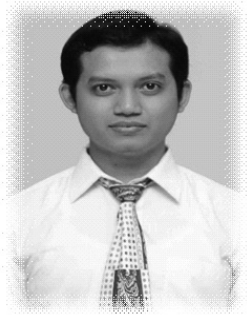
Hasan Subekti, pengampu mata kuliah Bioteknologi di Program Studi Pendidikan Sains, Fakultas Matematika dan ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA) Universitas Negeri Surabaya (Unesa). Bekerja sebagai staf pengajar dengan jabatan lektor. Selain mengajar, ia diberi mandat sebagai Pembina Satuan Gerakan Pramuka di Unesa. Sempat bekerja sebagai pesuruh di TK Idhata Unesa dan penjaga sekolah di SMP Laboratorium Unesa (2005—2008). Jenjang karier bidang kepengajaran dimulai dari mengajar di Program Studi Biologi FKIP UMSurabaya (2008). Jenjang pendidikan S-1 di Program Studi Pendidikan Biologi, Universitas Negeri Surabaya, dan jenjang S-2 di Program Studi Pendidikan Sains (dengan Konsentasi Biologi) di Program Pascasarjana (PPs) Universitas Negeri Surabaya. Kini sedang studi jenjang S-3 di Pendidikan Biologi Pascasarjana Universitas Negeri Malang dengan beasiswa dari Kemristekdikti.



Aris Handriyan pengampu mata kuliah Bioteknologi di Program Studi Pendidikan Sains, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan (FKIP), Universitas Trunojoyo Madura (UTM). Bekerja sebagai staf pengajar dengan jabatan asisten ahli. Selain mengajar,

sebagai peneliti, direktur penerbit *Jagad Alimussiry* Surabaya. Jenjang pendidikan S-1 di Program Studi Pendidikan Biologi, Universitas Negeri Surabaya, dan jenjang S-2 di Program Studi Pendidikan Sains (dengan Konsentrasi Biologi) di PPs Universitas Negeri Surabaya.

Aris Rudi Purnomo pengampu mata kuliah Bioteknologi di Program Studi Pendidikan Sains FMIPA Unesa. Bekerja sebagai staf pengajar dengan jabatan asisten ahli. Jabatan yang diemban adalah Dosen atau Tenaga Pengajar serta



diberi mandat sebagai pendamping kegiatan mahasiswa di Program studi pendidikan Sains di Unesa. Jenjang pendidikan S-1 di Program Studi Pendidikan Biologi, Universitas Negeri Surabaya, dan jenjang S-2 di Program Studi Pendidikan Sains (dengan Konsentrasi Biologi) di PPs Universitas Negeri Surabaya dan program *dual degree* di Curtin University.



Fitria Eka Wulandari, pengampu mata kuliah Bioteknologi di Program Studi Pendidikan IPA, FKIP Universitas Muhammadiyah Sidoarjo (UMSida). Di samping, dipercaya untuk pengampu mata kuliah landasan pendidikan,

biologi sel, konsep dasar IPA, filsafat sains, genetika, dan media pembelajaran. Bekerja sebagai staf pengajar dengan jabatan asisten ahli, dan saat ini dipercaya sebagai ketua program studi Pendidikan IPA UMSida. Jenjang pendidikan S-1 di Program Studi Pendidikan Biologi, Universitas Negeri Surabaya lulus tahun 2007, dan jenjang S-2 di Program Studi Pendidikan Sains (dengan Konsentrasi Biologi) di PPs Universitas Negeri Surabaya lulus tahun 2010.

Arindra Trisna Widiansyah

pengampu mata kuliah Bioteknologi di Program Studi Pendidikan IPA STKIP PGRI Nganjuk. Selain itu, juga pengampu mata kuliah Struktur, Fungsi dan Perkembangan Tumbuhan, Komunikasi



Pendidikan, Media dan Teknologi Pembelajaran, Keanekaragaman MakhluK Hidup, dan Teknologi Pembelajaran. Bekerja sebagai staf pengajar dengan jabatan asisten ahli. Jenjang pendidikan S-1 di Program Studi Pendidikan Biologi, Universitas Muhammadiyah Malang (UMM) lulus 2013, dan jenjang S-2 di Program Studi Pendidikan Biologi di Pascasarjana Universitas Negeri Malang (UM) lulus 2016.

