



BIOTEKNOLOGI PERTANIAN

- **Cheppy Wati, SP., M.Si**
- **Sri Hardanti, S.Si., MP**

PUSAT PENDIDIKAN PERTANIAN

Badan Penyuluhan dan Pengembangan SDM Pertanian
KEMENTERIAN PERTANIAN

2019

BUKU AJAR

POLITEKNIK PEMBANGUNAN PERTANIAN

ISBN : 978-602- 6367-45-7

PENANGGUNG JAWAB

Kepala Pusat Pendidikan Pertanian

PENYUSUN

Bioteknologi Pertanian

- Cheppy Wati, SP.,M.Si
- Sri Hardanti, S.Si.,MP

TIM REDAKSI

Ketua : Dr. Ismaya Nita Rianti Parawansa, SP.,M.Si

Sekretaris : Yudi Astoni, S.TP.,M.Sc

Pusat Pendidikan Pertanian
Badan Penyuluhan dan Pengembangan Sumber Daya Manusia Pertanian,
Kantor Pusat Kementerian Pertanian
Gedung D, Lantai 5, Jl. Harsono RM, No. 3 Ragunan, Jakarta Selatan 12550
Telp./Fax. : (021) 7827541, 78839234

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kami panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Kuasa, yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya, sehingga Buku Ajar Bioteknologi Pertanian dapat diselesaikan dengan baik. Buku ajar ini merupakan bahan pembelajaran bagi mahasiswa Pendidikan Tinggi Vokasi Pertanian lingkup Kementerian Pertanian dalam mengikuti proses perkuliahan untuk mendapatkan gambaran secara jelas dalam menerima materi pembelajaran.

Terima kasih kami sampaikan kepada tim penyusun yang telah menyusun buku ajar ini serta semua pihak yang telah ikut membantu dalam penyelesaiannya. Materi buku ajar ini merupakan Mata kuliah Bioteknologi Pertanian dengan bobot 3 SKS (1-2) dilaksanakan pada Semester III dan terdiri dari 14 kali tatap muka efektif ditambah dengan UTS dan UAS.

Isi buku ajar ini mencakup materi tentang 1. Ruang Lingkup Bioteknologi; 2. Bioteknologi Konvensional dan Modern; 3. Aplikasi Produk Bioteknologi Pertanian Bidang Hortikultura; 4. Peran Mikroba dalam Bidang Produksi Tanaman Hortikultura; 5. Bioteknologi dalam Bidang Perlindungan Tanaman Hortikultura; 6. Tanaman Transgenik; 7. Aplikasi Bioteknologi Pertanian dalam Bidang Industri; 8. Prospek dan Implikasi Perkembangan Bioteknologi Pertanian di Indonesia. Buku ajar dilengkapi dengan soal latihan sebagai bahan evaluasi mahasiswa terhadap materi yang telah diberikan.

Pada kesempatan ini kami menyampaikan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu penyusun dalam menyelesaikan buku ajar ini. Semoga buku ajar ini dapat memberikan manfaat bagi para mahasiswa pada Pendidikan Tinggi Vokasi Pertanian lingkup Kementerian Pertanian.

Jakarta, Oktober 2019

Kepala Pusat Pendidikan Pertanian


Dr. Idha Widi Arsanti, SP.,MP

NIP. 19730114 199903 2 002

PRAKATA

Dalam usaha melengkapi bahan referensi Pendidikan Tinggi Vokasi untuk Ilmu-ilmu Pertanian, maka disusunlah bahan ajar Bioteknologi Pertanian ini. Adanya Bahan Ajar ini diharapkan dapat membantu mahasiswa dalam melaksanakan tugas perkuliahannya dan sebagai pedoman untuk dosen dalam pengembangan materi pengajaran. Di dalam Bahan Ajar ini akan dibahas mulai dari Ruang Lingkup Bioteknologi, Bioteknologi Konvensional dan Modern, Aplikasi Produk Bioteknologi Pertanian Bidang Hortikultura, Bioteknologi dalam Bidang Perlindungan Tanaman Hortikultura, Tanaman Transgenik, Aplikasi Bioteknologi Pertanian dalam Bidang Industri, dan lain-lain.

Besar harapan kami, Bahan Ajar ini dapat menambah acuan dalam memperkaya informasi tentang Bioteknologi Pertanian Khususnya Bioteknologi Pertanian Bidang Hortikultura.

Penyusun

DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR	i
PRAKATA	ii
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR GAMBAR	ix
PETA KOMPETENSI	x
GLOSARIUM	xi
BAB I. PENDAHULUAN	1
A. Deskripsi	1
B. Prasyarat	1
C. Manfaat Pembelajaran	1
D. Capaian Pembelajaran	2
E. Petunjuk Pembelajaran	2
F. Cek Kemampuan Awal (<i>Pre Test</i>)	3
BAB II. PEMBELAJARAN	4
Kegiatan Pembelajaran 1 :	
1. RUANG LINGKUP BIOTEKNOLOGI PERTANIAN	4
A. Deskripsi	4
B. Kegiatan Pembelajaran	6
1. Tujuan Pembelajaran	6
2. Uraian Materi	6
3. Rangkuman	12
4. Soal Latihan	12
5. Kunci Jawaban	14
6. Sumber Informasi dan Referensi	14
C. Penilaian	14
1. Sikap	14
2. Pengetahuan	14
3. Keterampilan	14

Kegiatan Pembelajaran 2 :

2. PRODUK BIOTEKNOLOGI KONVENSIONAL DAN MODERN BIDANG HORTIKULTURA	14
A. Deskripsi	14
B. Kegiatan Pembelajaran	15
1. Tujuan Pembelajaran	15
2. Uraian Materi	16
3. Rangkuman	20
4. Soal Latihan	20
5. Kunci Jawaban	22
6. Sumber Informasi dan Referensi	23
C. Penilaian	24
1. Sikap	24
2. Pengetahuan	24
3. Keterampilan	24

Kegiatan Pembelajaran 3 :

3. APLIKASI PRODUK BIOTEKNOLOGI PERTANIAN BIDANG HORTIKULTURA	25
A. Deskripsi	25
B. Kegiatan Pembelajaran	25
1. Tujuan Pembelajaran	25
2. Uraian Materi	25
3. Rangkuman	33
4. Soal Latihan	33
5. Kunci Jawaban	33
6. Sumber Informasi dan Referensi	35
C. Penilaian	35
1. Sikap	35
2. Pengetahuan	35
3. Keterampilan	35

Kegiatan Pembelajaran 4 :

4. PERAN MIKROBA DALAM BIDANG PRODUKSI TANAMAN HORTIKULTURA	36
A. Deskripsi	36
B. Kegiatan Pembelajaran	37
1. Tujuan Pembelajaran	37
2. Uraian Materi	37
3. Rangkuman	56
4. Soal Latihan	56
5. Kunci Jawaban	57
6. Sumber Informasi dan Referensi	58
C. Penilaian	61
1. Sikap	61
2. Pengetahuan	61
3. Keterampilan	61

Kegiatan Pembelajaran 5 :

5. BIOTEKNOLOGI DALAM BIDANG PERLINDUNGAN TANAMAN HORTIKULTURA	62
A. Deskripsi	62
B. Kegiatan Pembelajaran	62
1. Tujuan Pembelajaran	62
2. Uraian Materi	62
3. Rangkuman	76
4. Soal Latihan	76
5. Kunci Jawaban	77
6. Sumber Informasi dan Referensi	78
C. Penilaian	79
1. Sikap	79
2. Pengetahuan	79
3. Keterampilan	79

Kegiatan Pembelajaran 6 :

6. TANAMAN TRANSGENIK	79
A. Deskripsi	79
B. Kegiatan Pembelajaran	80
1. Tujuan Pembelajaran	80
2. Uraian Materi	80
3. Rangkuman	104
4. Soal Latihan	105
5. Kunci Jawaban	105
6. Sumber Informasi dan Referensi	107
C. Penilaian	110
1. Sikap	110
2. Pengetahuan	110
3. Keterampilan	110

Kegiatan Pembelajaran 7 :

7. APLIKASI BIOTEKNOLOGI PERTANIAN DALAM BIDANG INDUSTRI	110
A. Deskripsi	110
B. Kegiatan Pembelajaran.....	111
1. Tujuan Pembelajaran	111
2. Uraian Materi	111
3. Rangkuman	122
4. Soal Latihan	124
5. Kunci Jawaban	126
6. Sumber Informasi dan Referensi	127
C. Penilaian	128
1. Sikap	128
2. Pengetahuan	128
3. Keterampilan	128

Kegiatan Pembelajaran 8 :

8. PROSPEK DAN IMPLIKASI PERKEMBANGAN BIOTEKNOLOGI PERTANIAN DI INDONESIA	128
A. Deskripsi	128
B. Kegiatan Pembelajaran	129
1. Tujuan Pembelajaran	129
2. Uraian Materi	129
3. Rangkuman	133
4. Soal Latihan	134
5. Kunci Jawaban	134
6. Sumber Informasi dan Referensi	135
C. Penilaian	136
1. Sikap	136
2. Pengetahuan	136
3. Keterampilan	136
BAB III. PENUTUP	137
DAFTAR PUSTAKA	138

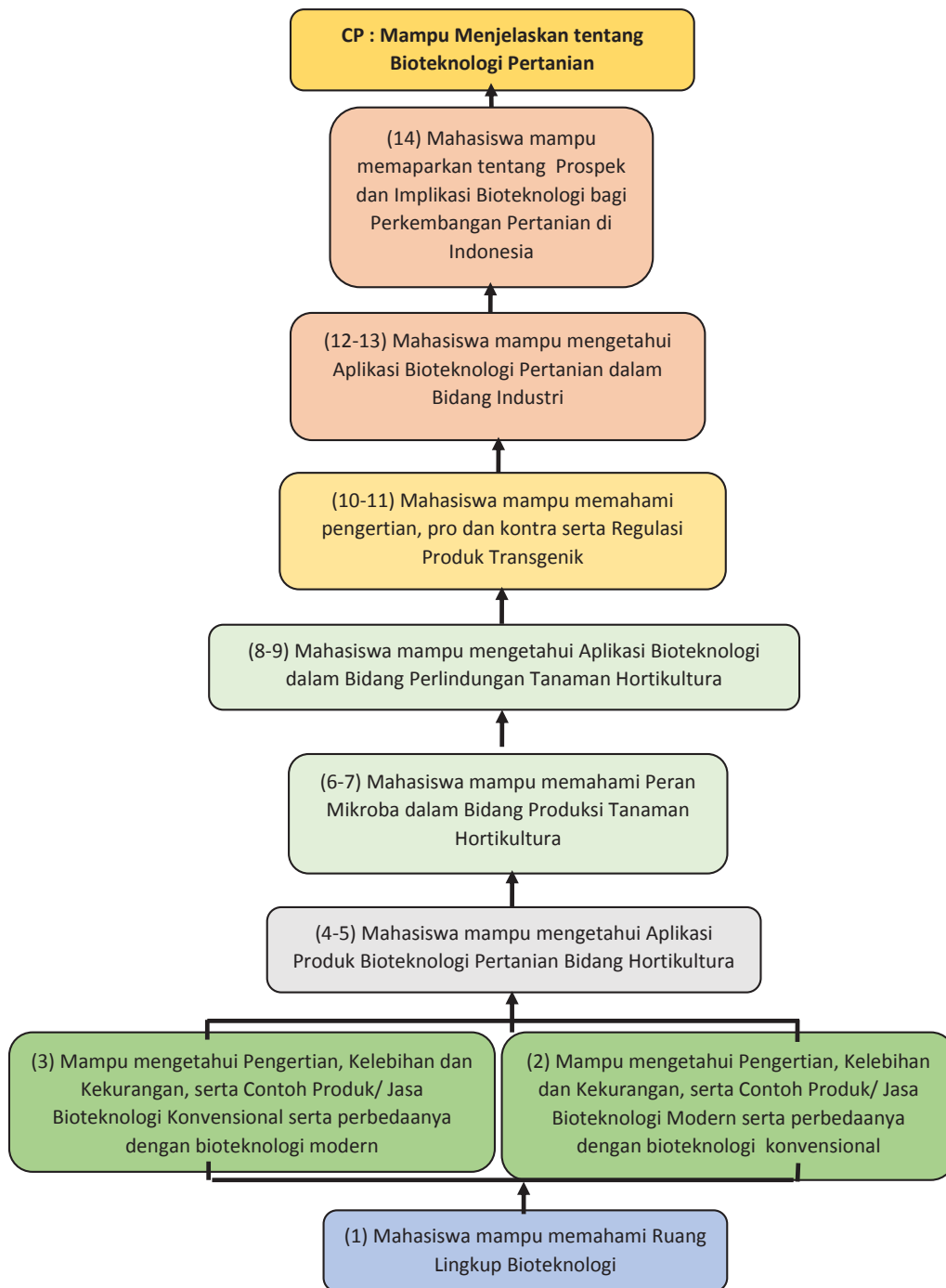
DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Definisi Bioteknologi dari Berbagai Versi	5
2. Distribusi Mikroorganisme dalam Horison dari Suatu Profil Tanah	45
3. Contoh pH Minimum, Optimum, dan Maksimum Untuk Beberapa Jenis Bakteri	47
4. Spesies Tanaman Transgenik yang Telah Dikembangkan	115
5. Perbandingan Jenis Bioinsektisida, Kandungan Zat Aktif Serta Sasarannya	119

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Disiplin Ilmu yang Berkontribusi dalam Pengembangan Bioteknologi ..	8
2. Ruang Lingkup Bioteknologi	9
3. Kultur Jaringan pada Wortel	30
4. Bentuk-bentuk Bakteri	38
5. Anatomi Sel Bakteri	39
6. Struktur dan Bentuk Virus Bakteriofag	41
7. Struktur Nematoda Jantan dan Betina	43
8. Manfaat dan Fungsi Mikroba Bagi Tanaman	49
9. <i>Mycoparasitasi Trichoderma</i> terhadap Patogen Penyebab Rebah Kecambah <i>Pythium</i> pada Permukaan Kacang <i>Trichoderma</i> diberi Pewarna <i>Orange Fluorescent</i> , Sedangkan <i>Pythium</i> diberi Pewarnaan dengan <i>Green</i>	65
10. <i>Arthrobotrys spp.</i> Menjerat Nematoda	68
11. Helios Gen Gun dan Alat Gen Gun Standar	83
12. Skema Kaset Gen	84
13. Tipe Gen Gun. A. Tekanan Udara ; B.Tegangan Voltase Tinggi	85
14. Peta Ti Plasmid <i>Agrobacterium Tumefaciens</i>	48
15. Proses Transfer T-DNA <i>Agrobacterium Tumefaciens</i>	91
16. Produksi Tumbuhan Transgenik dengan Menggunakan Integrasi Ti Plasmid	93
17. Metode In Planta <i>Agrobacterium Transformation</i>	94
18. Metode Transfer Gen ke Tanaman	95

PETA KOMPETENSI



GLOSARIUM

- Amensalisme** : bentuk interaksi atau hubungan dimana organisme yang satu menekan atau merugikan organisme lainnya.
- Antagonis** : karakter yang melawan karakter utama atau protagonis.
- Anther** : kultur yang berasal dari bagian reproduktif tanaman, yakni: kepalasari/ anther (kultur anther/kultur mikrospora), tepungsari/ pollen (kultur pollen), ovule (kultur ovule).
- Bakteri** : kelompok organisme yang tidak memiliki membran inti sel.
- Bakteri Anaerob** : bakteri yang tidak membutuhkan oksigen untuk hidup.
- Bakteri denitrifikasi** : kelompok bakteri yang memiliki kemampuan untuk melakukan reaksi reduksi senyawa nitrat (NO_3^-) menjadi senyawa nitrogen bebas (N_2).
- Bakteriofag** : virus yang menginfeksi bakteri.
- Bioteknologi** : ilmu biologi molekuler berikut teknik dan aplikasinya yang digunakan untuk memodifikasi, memanipulasi atau merubah proses kehidupan normal dari organisme-organisme dan jaringan-jaringan guna meningkatkan kinerjanya bagi keperluan manusia
- Biologi molekular** : salah satu cabang biologi yang merujuk kepada pengkajian mengenai kehidupan pada skala molekul.
- Biokontrol** : salah satu alternatif metode pengendalian penyakit tanaman yang ramah lingkungan.
- Biofertilizer** : pupuk yang mengandung mikroorganisme hidup yang ketika diterapkan pada benih, permukaan tanaman, atau tanah, akan mendiami rizosfer atau bagian dalam dari tanaman dan mendorong pertumbuhan dengan meningkatkan pasokan nutrisi utama dari tanaman.
- Cocopeat** : media tanam yang dibuat dari sabut kelapa
- DNA** : suatu asam nukleat yang menyimpan semua informasi biologis yang unik dari setiap makhluk hidup dan beberapa virus.

- DNA rekombinan** : suatu bentuk DNA buatan yang dibuat dengan cara menggabungkan atau merekombinasi dua atau lebih untaian benang DNA yang dalam keadaan normal tidak berpasangan atau terjadi bersama
- Eksplan** : bagian dari tanaman yang dijadikan sumber perbanyakan dalam kultur jaringan.
- Embrio** : sebuah eukariota diploid multisel dalam tahap paling awal dari perkembangan. Dalam organisme yang berkembang biak secara seksual, ketika satu sel sperma membuahi ovum, hasilnya adalah satu sel yang disebut zigot yang memiliki seluruh DNA dari kedua orang tuanya
- Enzim** : biomolekul berupa protein yang berfungsi sebagai katalis (senyawa yang mempercepat proses reaksi tanpa habis bereaksi) dalam suatu reaksi kimia organik.
- Enhancer** : wilayah pendek DNA (50-1500 bp) yang dapat diikat oleh protein (aktivator) untuk meningkatkan kemungkinan transkripsi gen tertentu.
- Epidermis** : lapisan jaringan, biasanya setebal satu lapis sel saja, yang menutupi permukaan organ, seperti daun, batang, akar, dan bunga.
- Epikotil** : ruas batang di atas daun lembaga yang akan tumbuh menjadi batang dan daun.
- Fiksasi nitrogen** : proses alami atau industri yang menyebabkan nitrogen bebas (N_2), merupakan gas yang relatif inert dan berlimpah di udara, untuk bergabung secara kimia dengan unsur-unsur lain untuk membentuk senyawa nitrogen yang lebih reaktif seperti amonia, nitrat, atau nitrit.
- Fotoautotrof** : organisme yang dapat menggunakan sumber energi cahaya untuk kemudian mengubah bahan anorganik menjadi bahan organik.
- Fotosintesis** : proses pembuatan makanan yang dilakukan oleh tumbuhan menggunakan air (H_2O), karbondioksida (CO_2) dengan bantuan energi cahaya matahari sehingga menghasilkan zat makanan dan Oksigen (O_2).

Fitohormon	: sekumpulan senyawa organik bukan hara (nutrien), baik yang terbentuk secara alami maupun dibuat oleh manusia, yang dalam kadar sangat kecil mampu mendorong, menghambat, atau mengubah pertumbuhan, perkembangan, dan pergerakan (taksis) tumbuhan.
Gen	: unit pewarisan sifat bagi organisme hidup. Bentuk fisiknya adalah urutan DNA yang melekat/berada di suatu protein, polipeptida, atau seuntai RNA yang memiliki fungsi bagi organisme yang memilikinya.
Genetika	: cabang biologi yang mempelajari pewarisan sifat pada organisme maupun suborganisme (seperti virus dan prion).
Genom	: keseluruhan informasi genetik yang dimiliki suatu sel atau organisme, atau khususnya keseluruhan asam nukleat yang memuat informasi tersebut.
Germisida	: senyawa kimia yang digunakan untuk membunuh atau menghambat pertumbuhan mikroorganisme pada jaringan yang hidup seperti pada permukaan kulit dan membran mukosa.
Herbisida	: senyawa atau material yang disebarkan pada lahan pertanian untuk menekan atau memberantas tumbuhan yang menyebabkan penurunan hasil (gulma).
Heterotrof	: organisme yang membutuhkan senyawa organik di mana karbon diekstrak untuk pertumbuhannya.
Hifa	: struktur fungi berbentuk seperti tabung yang terbentuk dari pertumbuhan spora atau konidia.
Imunologi	: suatu cabang yang luas dari ilmu biomedis yang mencakup kajian mengenai semua aspek sistem imun (kekebalan) pada semua organisme
Inokulan	: bahan aktif yang digunakan dalam proses Inokulasi
In vitro	: istilah yang dipakai dalam biologi untuk menyebutkan kultur suatu sel, jaringan, atau bagian organ tertentu di dalam laboratorium.

- Jaringan parenkim** : suatu jaringan yang terbentuk dari sel-sel hidup dengan struktur morfologi serta fisiologi yang bervariasi dan masih melakukan segala kegiatan proses fisiologis
- Kalus** : sekumpulan sel amorphous (tidak berbentuk atau belum terdiferensiasi) yang terbentuk dari sel-sel yang membelah terus menerus secara in vitro atau di dalam tabung.
- Kambium** : lapisan jaringan meristematik pada tumbuhan yang sel-selnya aktif membelah dan bertanggung jawab atas pertumbuhan sekunder tumbuhan
- Kapsid** : selubung yang berupa protein.
- Kepala sari** : struktur kecil yang ditemukan pada akhir benang sari yang bertanggung jawab untuk memproduksi serbuk sari.
- Khamir** : mikroorganisme eukariot yang diklasifikasikan dalam kingdom Fungi.
- Kitinase** : **enzim** yang dapat mengkatalisis reaksi degradasi (pemecahan) kitin dengan memotong ikatan glikosidik antara residu N-asetilglukosamin (monomer penyusun kitin).
- Kloning** : proses menghasilkan individu-individu dari jenis yang sama (populasi) yang identik secara genetik.
- Kloroplas** : bagian dari plastid yang mengandung klorofil.
- Kopyor** : kelainan genetik pada buah kelapa.
- Kultur embrio** : isolasi secara steril embrio matang ataupun belum matang dengan tujuan memperoleh tanaman yang viabel.
- Kultur jaringan** : teknik perbanyak tanaman secara vegetatif buatan yang didasarkan pada sifat totipotensi tumbuhan.
- Larva** : bentuk muda (*juvenile*) hewan yang perkembangannya melalui metamorfosis, seperti pada serangga dan amfibia.

LECA	: shell (cangkang) keramik ringan dengan intisarang lebah yang diproduksi dengan menembakkan tanah liat alami untuk suhu dari 1100-1200°C dalam tungku berputar.
Lipase	: enzim yang dapat larut dalam air dan bekerja dengan mengkatalisis hidrolisis ikatan ester dalam substrat lipid yang tidak larut air seperti trigliserida berantai panjang.
Meristem	: jaringan pada tumbuhan berwujud sekumpulan sel-sel punca yang aktif melakukan pembelahan sel.
Mikoriza	: bentuk simbiosis antara cendawan (fungi) dengan tumbuhan tingkat tinggi (tumbuhan berpembuluh, Tracheophyta), khususnya pada sistem perakaran.
Mikroba	: organisme berukuran kecil (< 1 mm), tidak terlihat oleh mata telanjang.
Mikroba Asidofil	: kelompok mikroba yang dapat hidup pada pH 2,0-5,0.
Mikroba mesofil	: kelompok mikroba yang dapat hidup pada pH 5,5-8,0.
Mikroba alkalifil	: kelompok mikroba yang dapat hidup pada pH 8,4-9,5
Nematoda	: mikroorganisme yang berbentuk cacing, bentuk tubuh bilateral simetris, dan spesiesnya bersifat parasit pada tanaman.
Netralisme	: hubungan antara makhluk hidup berbeda jenis yang tidak saling mempengaruhi, meskipun makhluk hidup tersebut berada dalam habitat yang sama.
Nitrifikasi	: proses pembentukan senyawa nitrat dari senyawa amonium.
Organisme aerob	: organisme yang melakukan metabolisme dengan bantuan oksigen.
Patogen	: agen biologis yang menyebabkan penyakit pada inangnya.
Paralisis	: kondisi lumpuh karena gangguan saraf yang berperan dalam mengatur gerakan otot tubuh.
Parasitisme	: menggambarkan hubungan antara dua organisme di mana satu mendapat manfaat, dan yang lainnya dirugikan.

PCR	: ATAU Polymerase Chain Reaction metode untuk amplifikasi (perbanyak) primer oligonukleotida diarahkan secara enzimatik urutan DNA spesifik.
Pengklonan	: proses menghasilkan individu-individu dari jenis yang sama (populasi) yang identik secara genetik.
Perlite	: batuan vulkanik yang telah superpanas menjadi kerikil kaca sangat ringan
Plasma nutfah	: substansi pembawa sifat keturunan yang dapat berupa organ utuh atau bagian dari tumbuhan atau hewan serta jasad renik.
Plasmid	: DNA ekstrakromosomal yang dapat bereplikasi secara autonom dan bisa ditemukan pada sel hidup.
Polipeptida	: polimer yang tersusun dari beberapa peptida hasil pengikatan gugus karboksil (COOH) dengan gugus amino.
Pollen	: sel tunggal dan haploid, sehingga merupakan sistem yg cocok untuk induksi mutasi dan manipulasi genetik lain.
Predasi	: bentuk interaksi antarorganisme di mana satu organisme memakan organisme lainnya.
Protease	: enzim golongan hidrolase yang akan memecah protein menjadi molekul yang lebih sederhana, seperti menjadi oligopeptida pendek atau asam amino, dengan reaksi hidrolisis pada ikatan peptida.
Protoplas	: sel tanaman tanpa bagian dinding sel.
Protoplasma	: bagian hidup dari sebuah sel yang dikelilingi oleh membran plasma.
Protokooperasi	: interaksi antara dua spesies atau lebih yang masing-masing saling memperoleh keuntungan adanya asosiasi, tetapi asosiasi yang terjadi tidak merupakan keharusan.
Radiasi	: pancaran energi melalui suatu materi atau ruang dalam bentuk panas, partikel atau gelombang elektromagnetik/cahaya (foton) dari sumber radiasi.

Rekayasa genetika	: suatu usaha memanipulasi sifat genetik suatu makhluk hidup untuk menghasilkan makhluk hidup yang memiliki sifat yang diinginkan.
Reseptor	: molekul protein yang menerima sinyal kimia dari luar sel.
Rhizobium	: genus bakteri tanah Gram-negatif yang memfiksasi nitrogen.
Senjata gen (gene gun)	: suatu metode fisik untuk mentransfer DNA ke dalam sel atau jaringan makhluk hidup.
Sianobakteria	: sebuah filum bakteri yang mendapatkan kebutuhan energinya melalui fotosintesis.
Sianida	: senyawa kimia yang mengandung gugus siano $C\equiv N$, dengan atom karbon terikat-tiga ke atom nitrogen.
Siderofor	: senyawa pengompleks Fe^{3+} atau pengkhelet besi spesifik yang dihasilkan oleh beberapa jenis mikroba untuk menyembunyikan unsur besi di lingkungan rizosfir, sehingga tidak tersedia bagi perkembangan mikroba patogen.
Simbiosis komensalime	: simbiosis atau interaksi yang berjalan pada 2 makhluk hidup atau organisme dengan jenis yang berbeda.
Simbiosis mutualisme	: suatu interaksi antara 2 makhluk hidup yang saling menguntungkan kedua belah pihak.
Substrat	: permukaan dimana sebuah organisme (seperti tumbuhan, fungus dan hewan) hidup.
Tanaman transgenik	: tanaman yang telah disisipi atau memiliki gen asing dari spesies tanaman yang berbeda atau makhluk hidup lainnya.
Totipotensi	: kemampuan sel atau jaringan organisme untuk tumbuh menjadi individu baru.
Virus	: parasit mikroskopik yang menginfeksi sel organisme biologis.



BAB I.

PENDAHULUAN

A. Deskripsi

Mata kuliah Bioteknologi Pertanian dengan bobot 3 SKS (1-2) dilaksanakan pada Semester III dan terdiri dari 14 kali tatap muka efektif ditambah dengan UTS dan UAS. Adapun ruang lingkup materi yang akan disampaikan terdiri dari Ruang Lingkup Bioteknologi, Bioteknologi Konvensional dan Modern, Aplikasi Produk Bioteknologi Pertanian Bidang Hortikultura, Peran Mikroba dalam Bidang Produksi Tanaman Hortikultura, Bioteknologi dalam Bidang Perlindungan Tanaman Hortikultura, Tanaman Transgenik, Aplikasi Bioteknologi Pertanian dalam Bidang Industri, serta Prospek dan Implikasi Perkembangan Bioteknologi Pertanian di Indonesia.

B. Prasyarat

Mata kuliah prasyarat yang harus diambil sebelum mengambil mata kuliah Bioteknologi Pertanian yaitu Mata kuliah Teknologi Hortikultura, Fisiologi Tanaman dan Mata Kuliah Pengendalian Organisme Pengganggu Tanaman (POPT). Mata kuliah Bioteknologi Pertanian merupakan mata kuliah yang berisi wawasan untuk mahasiswa tentang Bioteknologi Pertanian.

C. Manfaat Pembelajaran

Menjelaskan tentang manfaat materi pembelajaran bagi mahasiswa. Setelah mengikuti perkuliahan ini mahasiswa mampu memahami ruang lingkup Bioteknologi, mampu mengetahui pengertian, kelebihan dan kekurangan, serta contoh produk/ jasa Bioteknologi konvensional dan modern, mampu mengetahui aplikasi produk Bioteknologi Pertanian bidang Hortikultura, mampu memahami peran mikroba dalam bidang produksi tanaman Hortikultura, mampu mengetahui aplikasi Bioteknologi dalam Bidang Perlindungan Tanaman Hortikultura, mampu memahami pengertian, pro dan kontra serta regulasi produk transgenik, mampu mengetahui aplikasi Bioteknologi Pertanian dalam Bidang Industri, serta mampu

memaparkan tentang prospek dan implikasi Bioteknologi bagi perkembangan Pertanian di Indonesia.

D. Capaian Pembelajaran

Adapun kompetensi yang diharapkan pada mahasiswa setelah menerima materi Bioteknologi Pertanian selama satu semester ini adalah:

1. mampu memahami pengertian dan manfaat bioteknologi pertanian konvensional dan modern;
2. mampu mengetahui aplikasi dan produk-produk yang dihasilkan bioteknologi bidang hortikultura;
3. mampu mengetahui teknologi, manfaat dan jenis mikroba dalam bidang produksi tanaman hortikultura;
4. mampu mengetahui manfaat, jenis dan aplikasi Bioteknologi dalam bidang perlindungan tanaman hortikultura;
5. Mampu memahami ruang lingkup produk transgenik dan regulasi produk transgenik hortikultura;
6. mampu memahami pengertian, manfaat, jenis dan aplikasi bioteknologi industri hortikultura.

E. Petunjuk Pembelajaran

Kompetensi yang ingin dicapai pada mata kuliah Bioteknologi Pertanian ini dinyatakan melalui indikator-indikator performance. Berdasarkan indikator-indikator performance tersebut, kemudian dijabarkan ke dalam materi pembelajaran mata kuliah Bioteknologi Pertanian, yang memiliki 3 SKS, dengan 1 SKS Teori dan 2 SKS Praktik. Sesuai SKS yang dimiliki, maka materi pembelajaran setiap minggu diberikan dengan metode kuliah selama 50 menit untuk tatap muka, 60 menit untuk tugas terstruktur dan 60 menit untuk tugas mandiri. Pembelajaran praktik setiap minggu dilakukan dengan praktikum di Laboratorium dan kebun praktek selama 2 x 120 menit kegiatan praktik dan 2 x 50 menit kegiatan mandiri.

F. Cek Kemampuan Awal (*Pre Test*)

Perhatikan pernyataan di bawah ini, kemudian lingkari huruf **B** jika pernyataannya **Benar** atau lingkari huruf **S** jika pernyataannya **Salah**.

- B – S 1. Bioteknologi Pertanian yaitu cabang ilmu Biologi yang mempelajari tentang pemanfaatan makhluk hidup (meliputi bakteri, fungi, virus, dll) maupun produk dari makhluk hidup (meliputi: enzim, alkohol) dalam proses produksi untuk menghasilkan barang dan jasa untuk kepentingan manusia.
- B – S 2. Bioteknologi yang memanfaatkan mikroorganisme untuk menghasilkan barang dan jasa sesuai dengan kebutuhan manusia melalui cara fermentasi merupakan pengertian dari Bioteknologi Modern.
- B – S 3. Tape merupakan salah satu contoh produk bioteknologi modern
- B – S 4. Salah satu contoh aplikasi produk bioteknologi dalam bidang hortikultura yaitu Kultur Jaringan
- B – S 5. Contoh jenis mikroba yang berfungsi sebagai agen biokontrol, yang dapat bermanfaat untuk mengendalikan hama tanaman antara lain: *Bacillus thuringiensis* (BT).
- B – S 6. Salah satu peranan mikroba dalam bidang pertanian tanaman hortikultura yaitu sebagai agen biokontrol patogen.
- B – S 7. Bioteknologi dalam bidang perlindungan Tanaman yaitu bioteknologi yang diterapkan dengan cara mengaplikasikan pupuk kompos pada tanaman
- B – S 8. Tanaman Toleran terhadap hama merupakan salah satu contoh dari produk tanaman transgenik
- B – S 9. *In vivo* adalah istilah yang dipakai dalam biologi untuk menyebutkan kultur suatu sel, jaringan, atau bagian organ tertentu di dalam laboratorium.
- B – S 10. Yoghurt merupakan salah satu contoh dari penerapan bioteknologi dalam bidang Industri Pengolahan Hasil Pertanian

BAB II.

PEMBELAJARAN

Kegiatan Pembelajaran 1 :

1. Ruang Lingkup Bioteknologi Pertanian

A. Deskripsi

Segala proses atau kegiatan yang menghasilkan makanan, pakan, serat, dan produk lain yang diinginkan melalui budidaya tanaman tertentu dan pemeliharaan hewan ternak disebut dengan pertanian. Ilmu pertanian yang merupakan ilmu yang mempelajari tentang pertanian, termasuk budidaya dan panen, produksi hewan, dan pengolahan tanaman dan produk hewani untuk konsumsi dan pemanfaatan lain bagi manusia. Pertanian telah memainkan peran utama dalam kesejahteraan manusia, karenanya kemajuan pertanian telah menjadi faktor penting dalam perubahan sosial ekonomi. Kemajuan pertanian tidak lepas dengan kemajuan teknologi dan disiplin ilmu terapan lain, seperti bioteknologi.

Bioteknologi memiliki definisi yang beragam dalam pendekatan, isi dan penekanannya. Bioteknologi adalah pemanfaatan sistem kehidupan dan organisme hidup dengan memanfaatkan makhluk hidup atau hasil turunannya untuk menghasilkan atau memodifikasi produk atau proses untuk penggunaan tertentu. Beberapa definisi bioteknologi disajikan pada Tabel 1.1 . Bioteknologi, di sisi lain, adalah penggunaan prinsip-prinsip ilmiah dan teknik dalam pengolahan bahan agen biologis guna menyediakan barang dan jasa untuk keperluan manusia.

Ada ikatan yang kuat antara pertanian, bioteknologi dan perkembangan masyarakat. Dengan kata lain, bioteknologi pada prinsipnya berkaitan dengan makanan, menangani penyediaan bahan hasil pertanian, dan dengan demikian, bertindak sebagai solusi untuk memecahkan masalah terkait kekurangan gizi dan kelaparan di masyarakat maupun hal-hal lain yang berkaitan dengan kesejahteraan kelangsungan hidup manusia.

Tabel 1. Definisi Bioteknologi dari Berbagai Versi

No	Definisi
1.	Teknologi yang memanfaatkan proses biologi untuk menghasilkan produk-produk yang bermanfaat
2.	Pemanfaatan biokimia, mikrobiologi, keteknikan untuk aplikasi industri dengan memanfaatkan mikroorganisme, jaringan sel atau bagian dari keduanya
3.	Ilmu yang mempelajari proses produksi yang melibatkan aktivitas mikroorganisme dan komponen-komponennya, maupun aktivitas sel dan jaringan dari organisme tingkat tinggi
4.	Pemanfaatan makhluk hidup dan komponennya dibidang pertanian, pangan dan industri
5.	Aplikasi pengetahuan ilmu biologi untuk memenuhi kebutuhan manusia
6.	Aplikasi makhluk hidup, sistem maupun proses untuk kebutuhan industri barang dan jasa

Istilah bioteknologi muncul pertama kali pada tahun 1919, digunakan oleh seorang ilmuwan yang bernama Krl Ereky, dari Hungaria. Penggunaan istilah bioteknologi untuk menggambarkan interaksi biologi dan teknologi manusia, yaitu teknologi yang memanfaatkan sistem biologi untuk mengubah bahan baku menjadi produk yang berguna bagi masyarakat. Setelah hampir satu abad, visi Ereky sudah direalisasikan oleh masyarakat dunia terutama dunia industri dan lembaga penelitian. Tonggak sejarah bioteknologi modern dimulai pada tahun 1928, sejak ditemukannya antibiotik penicillin dari penicillium oleh Alexander Fleming untuk dimanfaatkan sebagai obat penderita penyakit kulit yang disebabkan oleh *Staphylococcus aureus*. Selanjutnya pada tahun 1940 penicillin digunakan untuk mengobati infeksi bakteri pada manusia. Pada tahun 1950 dan 1960, antibiotik berhasil dimunikan dari berbagai strain bakteri. Produksi skala komersil selanjutnya dilakukan untuk menghasilkan penicilin dalam jumlah yang besar.

B. Kegiatan Pembelajaran

1. Tujuan Pembelajaran

Tujuan dapat mempelajari ruang lingkup bioteknologi berdasarkan temuan para ilmuwan dan etika pengembangan bioteknologi serta macam-macam bioteknologi.

2. Uraian Materi

a. Sejarah Perkembangan Bioteknologi Pertanian

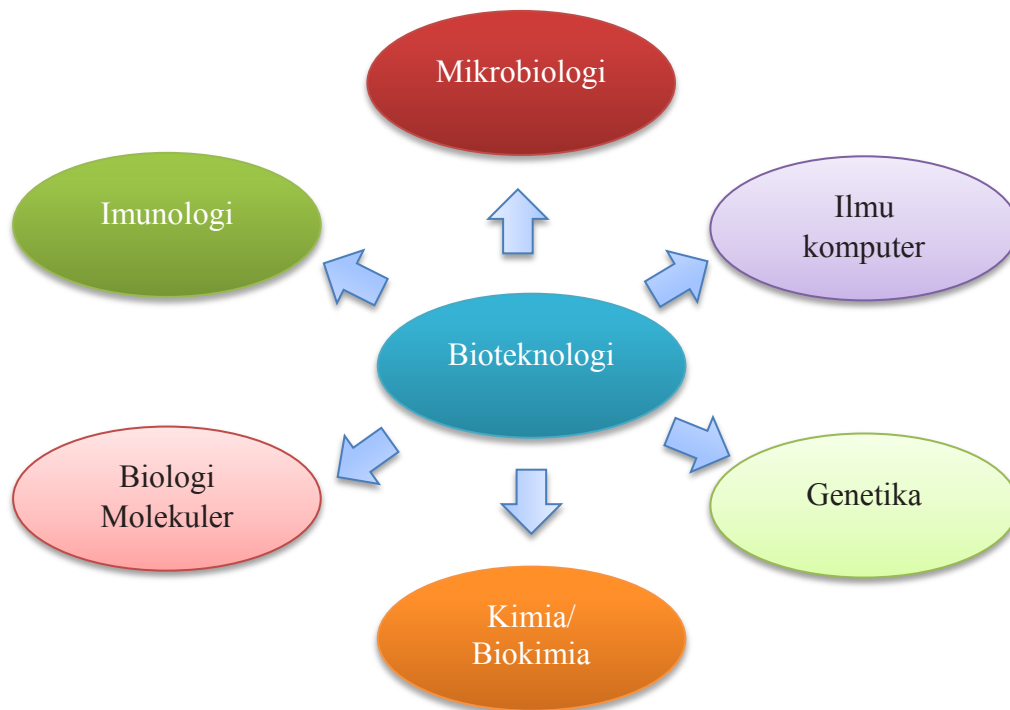
Sekitar 10.000 tahun SM, orang-orang memanen makanan mereka dari keanekaragaman hayati alami yang ada disekitarnya, dan akhirnya memelihara tanaman dan hewan. Semakin lama, orang-orang mulai memilih tanaman pangan yang lebih baik untuk diperbanyak dan hewan-hewan untuk pembibitan, awalnya tanpa disadari, namun pada akhirnya dengan maksud untuk mengembangkan tanaman pangan dan hewan ternak yang lebih baik. Petani akhirnya memilih sifat-sifat yang diinginkan pada tanaman, dan dengan demikian meningkatkan tanaman untuk tujuan pertanian. Sifat-sifat yang diinginkan tersebut termasuk varietas tanaman (yang juga dikenal sebagai kultivar, dari “varietas yang dibudidayakan”) dengan musim tanam yang lebih pendek, peningkatan resistensi terhadap penyakit dan hama, benih dan buah yang lebih besar, kandungan nutrisi, masa simpan, dan adaptasi yang lebih baik terhadap beragam kondisi lingkungan tempat tanaman ditanam itu tumbuh.

Para ahli pertanian mulai melakukan pemuliaan tanaman selektif sebelum memiliki pemahaman menyeluruh tentang dasar genetika. Penemuan Gregor Mendel menjelaskan bagaimana sifat-sifat berpindah dari orang tua ke anak-anak memberi ruang baru yang berhubungan dengan permasalahan pemuliaan tanaman selektif. Penemuan Mendel menunjukkan bahwa gen terpisah selama pembentukan gamet, dan bersatu secara acak selama pembuahan; dia juga menunjukkan bahwa gen ditransmisikan secara independen satu sama lain ke keturunannya. Pemahaman tentang cara tanaman dan hewan ini memperoleh sifat dari induknya menciptakan potensi bagi orang-orang untuk membiakkan tanaman dan ternak secara selektif. Penemuan Gregor Mendel merevolusi pertanian dengan meluncurkan pengembangan perkawinan silang selektif

dengan pemahaman komprehensif tentang mekanisme pewarisan sifat yang mendasarinya.

Pada abad kedua puluh, pemuliaan menjadi lebih canggih, karena sifat-sifat yang dipilih oleh ahli pertanian meliputi peningkatan hasil, ketahanan terhadap penyakit dan hama, ketahanan terhadap kekeringan dan peningkatan nutrisi maupun rasa. Ciri-ciri diturunkan dari satu generasi ke generasi berikutnya melalui gen, yang terbuat dari DNA. Semua organisme hidup — termasuk buah-buahan, sayuran, dan daging yang kita makan, mengandung gen yang memberi tahu sel cara berfungsi. Baru-baru ini, para ilmuwan telah mengembangkan identifikasi dan pemuliaan hasil pertanian dengan gen (DNA) yang bertanggung jawab atas sifat-sifat.

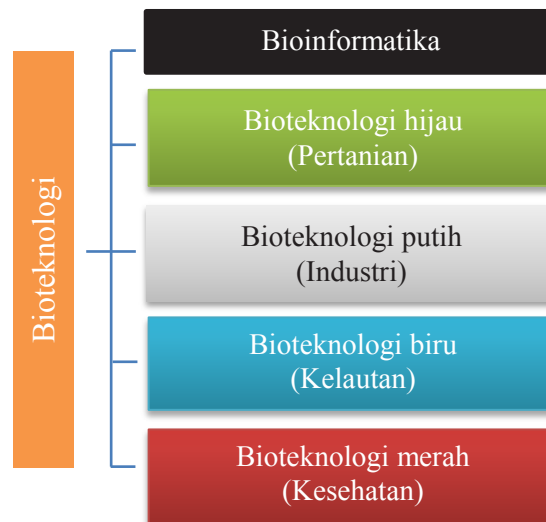
Bioteknologi merupakan interdisipliner yang melibatkan berbagai disiplin ilmu antara lain biologi, kimia, biokimia, biologi molekuler, genetika, imunologi, dan mikrobiologi, (Gambar 1.1). ruang lingkup bioteknologi adalah sangat luas (Gambar 1.2), beberapa ilmuwan membagi ruang lingkup bioteknologi menjadi bioteknologi merah (*red biotechnology*) dan bioteknologi hijau (*green biotechnology*). Bioteknologi merah yaitu cabang bioteknologi yang mempelajari aplikasi bioteknologi di bidang medis. Cakupannya meliputi tahanan preventif, diagnosis, dan pengobatan. Sedangkan bioteknologi hijau berkaitan dengan aplikasi bioteknologi di bidang pertanian/pangan dan peternakan.



Gambar 1. Disiplin Ilmu yang Berkontribusi Dalam Pengembangan Bioteknologi

Selanjutnya beberapa ilmuwan menggolongkan bioteknologi menjadi bioteknologi putih (*white biotechnology*). Bioteknologi putih seringkali disebut bioteknologi industri yaitu penggunaan proses yang melibatkan mikroorganisme dan atau enzim untuk menciptakan produk-produk baru (pangan maupun non-pangan), biomaterial, biopolimer, senyawa baru dan bioenergi pada skala industri. Bioteknologi industri memanfaatkan organisme (khususnya mikroba) dan enzim untuk menghasilkan berbagai produk di berbagai sektor seperti kimia, pangan dan pakan, kertas dan pulp, tekstil dan energi. Bioteknologi biru disebut juga bioteknologi akuatik mencakup aplikasi bioteknologi di bidang perairan dan kelautan. Seperti pemanfaatan alga sebagai sumber energi atau pemanfaatan *antifouling* dari organisme laut untuk mengatasi permasalahan *biofouling*. Penggolongan baru dalam bioteknologi selain 4 bidang diatas adalah adanya penambahan satu bidang kajian yaitu bioinformatika. Bioinformatika adalah bidang interdisipliner yang mengkaji masalah biologi dengan menggunakan teknik komputasi. Selanjutnya dengan ilmu komputer sekuen dari gen tersebut dapat diketahui, demikian juga struktur dari produk gen dapat dianalisis.

Bioinformatika memainkan peran penting dalam genomik fungsional, genomik struktural, dan proteomik serta mampu menciptakan komponen-komponen penting yang bermanfaat bagi kebutuhan manusia.



Gambar 2. Ruang Lingkup Bioteknologi

Jenis-jenis Bioteknologi

Bioteknologi berdasarkan cakupannya dibedakan menjadi:

1) Bioteknologi Mikroba

Penggunaan ragi untuk membuat bir dan anggur adalah salah satu aplikasi tertua dari bioteknologi. Dengan memanipulasi mikroorganisme seperti bakteri dan ragi, bioteknologi mikroba telah menciptakan enzim yang lebih baik dan organisme untuk membuat banyak makanan, menyederhanakan manufaktur dan proses produksi, dan membuat proses dekontaminasi untuk menghilangkan produk limbah industri lebih efisien. Pencucian minyak dan mineral dari tanah untuk meningkatkan efisiensi pertambangan adalah contoh lain dari bioteknologi mikroba. Mikroba juga digunakan untuk klon dan diproduksi dalam jumlah banyak, protein penting yang digunakan dalam kedokteran manusia termasuk insulin dan hormon pertumbuhan.

2) Bioteknologi Pertanian

Dalam bioteknologi pertanian, kita memeriksa berbagai topik dari rekayasa genetika, tanaman tahan hama yang tidak perlu disemprot dengan pestisida, makanan dengan protein yang lebih tinggi atau kandungan vitamin dan obat-obatan berkembang dan tumbuh sebagai produk tanaman. bioteknologi pertanian sudah menjadi bisnis besar yang berkembang pesat. Telah diperkirakan bahwa bioteknologi pertanian di Amerika Serikat akan menjadi 7 miliar pasar pada tahun 2008. Manipulasi genetik tanaman telah digunakan selama lebih dari 20 tahun untuk menghasilkan tanaman rekayasa genetika dengan karakteristik pertumbuhan tanaman yang diubah seperti tahan kekeringan, toleransi terhadap suhu dingin, dan menghasilkan makanan yang lebih besar.

3) Bioteknologi Hewan

Hewan bisa dijadikan sebagai bioreaktor untuk menghasilkan berbagai produk penting, misalnya, kambing, domba, dan ayam yang digunakan untuk menghasilkan protein antibodi. Untuk menghasilkan produksi skala besar ilmuwan menciptakan hewan transgenik yang mengandung gen dari berbagai sumber.

4) Bioteknologi Forensik

DNA *fingerprinting* adalah kumpulan metode untuk mendeteksi pola DNA yang unik suatu organisme, adalah alat utama yang digunakan dalam bioteknologi forensik. Bioteknologi adalah alat yang ampuh untuk penguatan hukum yang dapat menyebabkan inklusi atau pengecualian dari seseorang dari kecurigaan berdasarkan bukti DNA. DNA *fingerprinting* dapat dilakukan dengan menggunakan sejumlah jejak jaringan, rambut, darah, atau cairan tubuh yang di tinggalkan di TKP.

5) Bioremediasi

Bioremediasi digunakan untuk membersihkan lingkungan yang tercemar yang disebabkan oleh perkembangan industri. Berbagai bioremediasi menggunakan aplikasi bioteknologi mikroba.

6) Bioteknologi Akuatik

Salah satu aplikasi tertua dari bioteknologi air adalah akuakultur, meningkatkan finfish atau kerang dalam kondisi terkendali untuk digunakan sebagai sumber makanan. Trout, salmon dan ikan patin, antara banyak spesies akuakultur semakin populer diseluruh dunia, terutama dinegara-negara berkembang.

7) Bioteknologi Medis

Banyak produk bioteknologi seperti obat-obatan dan protein rekombinan di produksi untuk kesehatan manusia. Bioteknologi medis yang terlibat dalam seluruh pengobatan manusia. Dari obat pencegah untuk diagnosis kesehatan dan penyakit dengan pengobatan untuk penyakit manusia.

Beberapa teknologi yang mendasari Bioteknologi adalah:

a) Teknologi Antibodi Monoklonal (TAM)

TAM menggunakan sel-sel sistem imunitas yang disebut anti bodi. Dengan mengetahui cara kerja antibodi, maka kita dapat memanfaatkannya untuk keperluan deteksi, kuantitasi dan lokalisasi. TAM saat ini telah digunakan untuk deteksi kehamilan, alat diagnosis berbagai penyakit infeksi dan deteksi sel-sel kanker.

b) Teknologi Bioproses

Teknologi bioproses menggunakan sel-sel hidup atau komponen mekanisme biokimia untuk mensintesis, menguraikan atau membebaskan energi. Termasuk teknologi bioproses adalah fermentasi dan biodegradasi.

c) Teknologi Sel dan Kultur Jaringan

Teknologi sel dan kultur jaringan adalah teknologi yang memungkinkan kita untuk menumbuhkan sel atau jaringan dalam nutrien yang sesuai di laboratorium. Teknologi ini dapat dilakukan pada tanaman atau hewan.

d) Teknologi Biosensor

Teknologi biosensor merupakan gabungan antara biologi molekuler dan mikroelektronika. Teknologi biosensor dapat digunakan dalam berbagai bidang seperti pengukuran derajat kesegaran suatu bahan pangan, memonitor

suatu proses industri, atau mendeteksi senyawa yang terdapat dalam jumlah kecil didalam darah.

e) **Rekayasa Genetika**

Rekayasa genetika atau teknologi DNA rekombinan merupakan tulang punggung dan pemicu lahirnya bioteknologi molekuler, DNA rekombinan di konstruksikan dengan menggabungkan materi genetik dari dua atau lebih sumber yang berbeda atau melakukan perubahan secara terarah pada suatu materi genetik tertentu. Rekayasa genetik merupakan usaha manusia mencari varietas atau galur yang paling sesuai.

f) **Teknologi Rekayasa Protein**

Teknologi Rekayasa Protein sering digunakan bersamaan dengan rekayasa genetika untuk meningkatkan profil atau kinerja suatu protein dan untuk mengkonstruksikan protein baru yang secara alami tidak ada. Dengan teknologi rekayasa protein kita dapat meningkatkan daya katalisis suatu enzim, sehingga dapat lebih produktif pada kondisi proses-proses industri.

3. Rangkuman

Bioteknologi adalah pemanfaatan sistem kehidupan dan organisme untuk mengembangkan atau membuat produk baru dengan memanfaatkan makhluk hidup atau hasil turunannya untuk menghasilkan atau memodifikasi produk atau proses untuk penggunaan tertentu.

Ruang lingkup bioteknologi menurut ilmuwan terbagi menjadi Bioinformatika, bioteknologi hijau (pertanian), bioteknologi putih (industri), bioteknologi biru (kelautan), dan bioteknologi merah (kesehatan).

Beberapa teknologi yang mendasari Bioteknologi adalah: Teknologi Antibodi Monoklonal (TAM), Teknologi Bioproses, Teknologi Sel dan Kultur Jaringan, Teknologi Biosensor, Rekayasa Genetika, dan Teknologi Rekayasa Protein.

4. Soal Latihan

- 1) Pemanfaatan makhluk hidup dan komponennya dibidang pertanian, pangan dan industri disebut dengan....?

- a. Biofarmaka
 - b. Bioteknologi
 - c. Bikimia
 - d. Biologi molekuler
- 2) Disiplin ilmu yang berkontribusi dalam pengembangan bioteknologi yaitu....?
- a. Mikrobiologi
 - b. Immunologi
 - c. Genetika
 - d. Semuanya benar
- 3) Bioteknologi industri yaitu penggunaan proses yang melibatkan mikroorganisme dan atau enzim untuk menciptakan produk-produk baru (pangan maupun non-pangan), biomaterial, biopolimer, senyawa baru dan bioenergi pada skala industri....?
- a. Bioteknologi Putih
 - b. Bioteknologi Hitam
 - c. *Biofouling*
 - d. Jawaban a dan b benar
- 4) Bioteknologi yang digunakan untuk membersihkan lingkungan yang tercemar yang disebabkan oleh perkembangan industri adalah....?
- a. Bioremediasi
 - b. Bioteknologi akuatik
 - c. Bioteknologi foresik
 - d. Bioteknologi hewan
- 5) Teknologi yang memungkinkan kita untuk menumbuhkan sel atau jaringan dalam nutrien yang sesuai di laboratorium adalah....?
- a. Teknologi Bioproses
 - b. Teknologi Antibodi Monoklonal
 - c. Teknologi Sel dan Kultur Jaringan
 - d. Teknologi Biosensor

5. Kunci Jawaban

- 1) B
- 2) D
- 3) A
- 4) A
- 5) C

6. Sumber Informasi dan Referensi

Zulfiani., Juanengsih, N., Noor, F.M. (2013). Bioteknologi. UIN Jakarta Press

Wardani, A.K., Wijayanti, S.D., Widyastuti, E., (2017) Pengantar Bioteknologi. UB Press Redaksi, Malang.

C. Penilaian

1. **Sikap** : Keikutsertaan dan partisipasi dalam diskusi
2. **Pengetahuan** : Kemampuan menjawab pertanyaan dengan benar pada soal latihan
3. **Keterampilan** : Melaksanakan penerapan dalam praktik ruang lingkup bioteknologi serta menjawab pertanyaan di dalam kelas

Kegiatan Pembelajaran 2 :

2. Produk Bioteknologi Konvensional dan Modern Bidang Hortikultura

A. Deskripsi

Secara umum, bioteknologi berkontribusi pada pertanian berkelanjutan dengan mengurangi ketergantungan pada agro-kimia, khususnya pestisida, melalui penyebaran gen yang memberikan toleransi atau resistensi terhadap tekanan biotik dan abiotik; peningkatan produktivitas dan kualitas; peningkatan fiksasi nitrogen dan peningkatan serapan hara dan efisiensi penggunaan; peningkatan teknologi untuk menghasilkan energi turunan biomassa; generasi tingkat nutrisi yang tinggi dalam tanaman pokok yang kekurangan nutrisi.

Sejak awal pertanian delapan hingga sepuluh ribu tahun yang lalu, petani telah mengubah susunan genetik tanaman yang mereka tanam. Petani awal memilih

tanaman dan biji yang paling baik. Pemilihan sifat seperti pertumbuhan yang lebih cepat, hasil yang lebih tinggi, tahan hama dan penyakit, biji yang lebih besar, atau buah-buahan yang lebih manis telah mengubah spesies tanaman asli. Pemuliaan tanaman muncul ketika manusia mengetahui bahwa tanaman dapat dikawinkan secara buatan atau dilakukan penyerbukan silang untuk dapat meningkatkan karakter tanaman. Karakteristik yang diinginkan dari tanaman induk yang berbeda dapat dikombinasikan dalam keturunannya. Ketika ilmu pemuliaan tanaman dikembangkan lebih lanjut pada abad ke-20, pemulia tanaman lebih memahami cara memilih tanaman unggul dan membiakkannya untuk membuat varietas tanaman baru yang lebih baik. Hal ini meningkatkan produktivitas dan kualitas tanaman yang ditanam untuk tujuan pangan, maupun pakan.

Bioteknologi konvensional telah menjadi metode yang digunakan untuk mengembangkan varietas tanaman baru selama ratusan tahun, sebagai contoh adalah pemuliaan tanaman secara konvensional. Namun, pemuliaan tanaman konvensional tidak dapat lagi menopang permintaan global dengan meningkatnya populasi, penurunan sumber daya pertanian seperti tanah dan air, dan dataran tinggi.

Bioteknologi modern adalah teknologi baru dan pada dasarnya berkaitan erat dengan pada kultur sel dan jaringan serta rekayasa genetika (Argay Waktola dan Bayush Tsegaye, 2003). Menurut Cartagena “Bioteknologi Modern” didefinisikan sebagai penerapan a) teknik asam nukleat invitro termasuk DNA rekombinan dan injeksi langsung asam nukleat ke dalam sel atau organel, atau b) Penggabungan sel-sel di luar keluarga taksonomi, yang mengatasi hambatan reproduksi atau rekombinasi fisiologis alami dan yang bukan teknik yang digunakan dalam pemuliaan tradisional dan seleksi (Cartagena Protocol, 2000). Teknologi DNA rekombinan adalah dasar dari Bioteknologi Modern (Ex-Im Bank of India, 2010).

B. Kegiatan Pembelajaran

1. Tujuan Pembelajaran

Tujuan pembelajaran ini adalah dapat memahami pengertian bioteknologi dan memahami jenis bioteknologi, diantaranya: bioteknologi konvensional

dan bioteknologi modern serta jenis produk yang dihasilkan dari kedua jenis bioteknologi tersebut.

2. Uraian Materi

Bioteknologi adalah bidang penerapan biosains dan teknologi yang menyangkut penerapan praktis organisme hidup atau komponen subselulernya pada industri jasa dan manufaktur serta pengelolaan lingkungan. Atau dapat pula di definisikan sebagai teknologi yang menggunakan sistem hayati (proses-proses biologi) untuk mendapatkan barang dan jasa yang berguna bagi kesejahteraan manusia. Bioteknologi memanfaatkan: bakteri, ragi, kapang, alga, sel tumbuhan atau sel hewan yang dibiakkan sebagai konstituen berbagai proses industri. Pada umumnya bioteknologi dibedakan menjadi bioteknologi konvensional/ tradisional dan modern.

a. Bioteknologi Konvensional

Bioteknologi konvensional adalah bioteknologi yang memanfaatkan mikrobia (organisme) untuk memodifikasi bahan dan lingkungan untuk memperoleh produk optimal. Ciri-ciri bioteknologi konvensional; kurang steril, jumlah sedikit (terbatas), kualitas belum terjamin.

Di Indonesia banyak dijumpai berbagai produk makanan tradisional hasil olahan bioteknologi konvensional melalui fermentasi seperti tempe, tapai, dan oncom (Nuraida et al., 2014). Pengolahan makanan tersebut tidak terlepas dari peranan mikroorganisme berupa bakteri, fungi, dan yeast (Barus dan Wijaya 2011; Sarwono 2010). Pemanfaatan mikroorganisme ini berbeda-beda tergantung pada bahan dasar dan hasil akhir yang ingin diperoleh (Pessoa 2019). Manfaat dari penerapan bioteknologi adalah untuk menghasilkan makanan yang bergizi tinggi, menghasilkan produk makanan dan minuman hasil fermentasi, serta menghasilkan produk bahan penyedap.

Seiring perkembangan zaman, kebutuhan akan makanan terus meningkat sehingga perlu diadakannya peningkatan dan perbaikan kuantitas serta kualitas pangan. Penelitian dibidang bioteknologi ini diharapkan mampu meningkatkan nilai guna dan manfaat dari berbagai jenis bahan pangan untuk memenuhi kebutuhan manusia (Bartholomaeus et al. 2013).

Fermentasi dikenal sebagai salah satu cara pengawetan makanan tertua di dunia. Pengawetan makanan melalui fermentasi pada bahan mentah telah digunakan sejak sekitar zaman Neolitik (sekitar 1000 tahun SM) (Prajapati dan Nair 2003). Pada tahun 1665, Van Leeuwenhoek dan Hooke mulai mengetahui bahwa fermentasi terjadi akibat aktivitas mikroorganisme alkohol (Gest 2004). Pengawetan makanan dengan fermentasi terjadi karena adanya pembentukan metabolit penghambat seperti etanol, asam organik (asam laktat, asam asetat, asam format, dan asam propionat), dan bakteriosin (Ross *et al.* 2002; Gaggia *et al.* 2011). Selain untuk mengawetkan, fermentasi juga dapat menjadikan perubahan aroma, tekstur, dan rasa pada makanan.

Jika ditinjau dari segi kesehatan, produk fermentasi mampu meningkatkan daya cerna dan kualitas nutrisi makanan (Steinkraus 2002), meningkatkan nilai gizi makanan (Van Boekel *et al.* 2010; Poutanen *et al.* 2009), meningkatkan keamanan makanan melalui penghambatan patogen (Adams dan Mitchell 2002; Adams dan Nicolaidis, 2008) serta juga dapat meningkatkan kualitas organoleptik makanan (Marilley dan Casey 2004; Smit *et al.* 2005; Lacroix *et al.* 2010; Sicard dan Legras 2011).

Contoh produk bioteknologi konvensional adalah:

- ✓ Tempe
- ✓ Tape
- ✓ Roti
- ✓ Pengomposan sampah
- ✓ Kecap
- ✓ Keju
- ✓ Yoghurt
- ✓ Kefir
- ✓ Nata

Materi mengenai bioteknologi konvensional ini sangat dekat dengan kehidupan sehari-hari selain itu karena bioteknologi konvensional dapat dilakukan dengan alat dan bahan yang sederhana, sehingga akan lebih baik jika kegiatan bioteknologi konvensional dapat dilakukan atau dipraktikkan oleh mahasiswa.

b. Bioteknologi modern

Bioteknologi modern dilakukan melalui pemanfaatan keterampilan manusia dalam melakukan manipulasi makhluk hidup agar dapat digunakan untuk menghasilkan produk sesuai yang diinginkan manusia. Misalnya melalui teknik rekayasa genetik. Rekayasa genetik merupakan teknik untuk menghasilkan molekul DNA yang berisi gen baru yang diinginkan atau kombinasi gen-gen baru atau dapat dikatakan sebagai manipulasi organisme.

Bioteknologi 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, 2014).

Genetika merupakan ilmu yang mempelajari bagaimana sifat-sifat suatu makhluk hidup ini diturunkan dari induk kepada keturunannya. Sebagian besar dari sifat yang dimiliki oleh suatu makhluk hidup dikendalikan oleh gen-gen yang berada di dalam inti sel (nukleus), dan pola penurunannya dipelajari dalam Genetika Mendel (Mendelian Genetics). Prinsip dasar dari pola penurunan Mendel ini adalah bahwa suatu sifat yang diturunkan kepada keturunannya separoh (50%) berasal dari induk jantan dan separoh (50%) berasal dari induk betina. Namun demikian, adapula sifat-sifat makhluk hidup yang dikendalikan oleh DNA yang berada di luar inti (mitokondria, kloroplast), yang pola penurunannya tidak mengikuti pola Mendel, sehingga sering disebut sebagai Genetika non-Mendel (Non-Mendelian Genetics) (Sutarno, 2015).

Pada genetika non-Mendel, sifat yang dimiliki keturunan secara keseluruhan (100%) berasal dari induk betina, sehingga pola penurunannya sering disebut dengan maternally inherited. Dengan berkembangnya teknologi molekuler, maka berkembang pula teknik-teknik untuk memanipulasi gen sehingga muncul teknik rekayasa genetik (genetic engineering). Kemajuan-kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi yang telah ada baik di bidang fisika, kimia, matematika dan biologi telah memicu majunya bioteknologi. Selain itu, banyak

hal yang juga ikut berperan dalam memicu lahirnya bioteknologi, diantaranya adalah karena semakin besar tuntutan untuk mencapai target yang diinginkan dengan proses yang lebih cepat dan terobosan yang inovatif yang bisa menguntungkan bagi umat manusia. Bioteknologi juga memiliki peran penting dalam ilmu pengetahuan dewasa ini, bioteknologi sendiri mengalami berbagai pembaruan dari bioteknologi yang bersifat tradisional kearah bioteknologi yang modern. Manfaat bioteknologi bagi kehidupan manusia dalam meningkatkan kesejahteraan dan perbaikan hidup telah terbukti, antara lain penerapannya untuk memerangi kelaparan, mengatasi kelangkaan sumber daya energi.

Meningkatnya permintaan masyarakat terhadap suatu produk serta ketersediaan makanan, kosmetik, dan obat secara berkelanjutan menjadikan bioteknologi sebagai salah satu solusi pemenuhan kebutuhan tersebut (Pessoa et al., 2019). Saat ini bioteknologi banyak diterapkan dalam berbagai aspek meliputi bidang pangan, pertanian, peternakan, kedokteran, maupun farmasi (Kompiang 2009; Nuraida et al. 2014; Sunarlim dan Sutrisno 2003; Yoon et al. 2016; Zhou et al. 2019). *Bioteknologi pangan menjadi bahasan yang perlu dikaji lebih mendalam sebagai upaya pemenuhan kebutuhan manusia akan bahan pangan (Bartholomaeus et al. 2013).*

Bioteknologi yang sedang berkembang adalah bioteknologi modern dengan menggunakan teknologi rekombinasi DNA dengan teknik tertentu untuk memotong, menyisipkan, maupun menyusun kembali fragmen-fragmen DNA. Bioteknologi berperan dalam menghasilkan varietas tanaman yang unggul dan memiliki produktivitas tinggi. Peneliti menggunakan mikroorganisme bakteri sebagai agen pembawa gen. Gen tersebut dibawa melalui organel berupa plasmid dalam tubuh bakteri. Transfer gen dapat dilakukan dari binatang ke tanaman, ataupun dari tanaman ke mikroorganisme (Sutarno 2016). Namun beberapa pihak mengkhawatirkan kehalalan produk pangan hasil bioteknologi sehingga perlu diamati dan ditetapkan titik kritis kehalalan produk.

Contoh produk bioteknologi modern antara lain seperti:

- ✓ Enzim
- ✓ glukosa hasil hidrolisis enzimatis

- ✓ beberapa bahan tambahan pangan
- ✓ produk hasil rekayasa genetika (Genetic Modified Organism) (Pramashinta et al. 2014).
- ✓ Kultur jaringan untuk memperbanyak tanaman dalam usaha budidaya tanaman
- ✓ Kloning untuk hewan ternak seperti domba dolly
- ✓ Modifikasi sifat tanaman sehingga memiliki ketahanan tertentu pada kondisi tertentu. Seperti tahan hama, penyakit dan kekeringan.

Transfer gen dapat dilakukan untuk menghasilkan individu dengan sifat unggul dan dapat diterapkan pada bidang peternakan.

3. Rangkuman

Bioteknologi merupakan penerapan asas-asas sains (ilmu pengetahuan alam) dan rekayasa (teknologi) untuk pengolahan suatu bahan dengan melibatkan aktivitas jasad hidup untuk menghasilkan barang dan/atau jasa. Bioteknologi dapat digolongkan menjadi dua jenis yaitu bioteknologi konvensional dan bioteknologi modern. Ciri dari bioteknologi konvensional adalah kurang steril, jumlah sedikit (terbatas), dan kualitas belum terjamin. Contoh: industri tempe, tape, anggur, yoghurt. Sedangkan ciri dari bioteknologi modern adalah steril, produksi dalam jumlah banyak (massal), kualitas standar dan terjamin. Selain itu, bioteknologi modern tidak terlepas dengan aplikasi metode-metode mutakhir bioteknologi (current methods of biotechnology). Contoh kultur jaringan, transfer gen, kloning hewan, produk makanan hasil rekayasa genetika yang memberikan sifat unggul tertentu.

4. Soal Latihan

Pilihlah jawaban yang paling tepat dan sesuai pada masing-masing soal dibawah ini:

- 1) Penggunaan bioteknologi sebagai ilmu ataupun sebagai alat, bertanggung jawab dalam
 - a. Kemajuan secara cepat dalam berbagai bidang kehidupan

- b. Kemajuan secara lambat dalam berbagai bidang kehidupan
 - c. Kemajuan secara cepat hanya dalam bidang pertanian
 - d. Kemajuan secara lambat hanya dalam bidang pertanian
- 2) Bioteknologi dapat dibedakan menjadi 2, yaitu ...
- a. Bioteknologi baik dan bioteknologi kurang baik
 - b. Bioteknologi umum dan bioteknologi khusus
 - c. Bioteknologi konvensional dan bioteknologi modern
 - d. Bioteknologi biasa dan bioteknologi luar biasa
- 3) Salah satu produk bioteknologi konvensional yang paling sering ditemui adalah?
- a. Sapi cloning
 - b. Tempe
 - c. Produk rekayasa genetic
 - d. Padi varietas mapan
- 4) Manfaat bioteknologi adalah
- a. Menghasilkan varietas tanaman rentan hama
 - b. Menghasilkan varietas tanaman yang unggul dan memiliki produktivitas tinggi
 - c. Membantu manusia dalam hal pertanian saja
 - d. Tidak terlalu bermanfaat
- 5) Bioteknologi yang dilakukan melalui pemanfaatan keterampilan manusia dalam melakukan manipulasi makhluk hidup adalah
- a. Bioteknologi
 - b. Bioteknologi luar biasa
 - c. Bioteknologi modern
 - d. Bioteknologi konvensional
- 6) Produk hasil rekayasa genetik merupakan hasil produk
- a. Bioteknologi konvensional
 - b. Bioteknologi tradisional

- c. Bioteknologi standart
 - d. Bioteknologi modern
- 7) Bioteknologi pangan menjadi bahasan penting untuk dikaji lebih mendalam sebagai upaya
- a. Pemuasan keinginan manusia akan bahan pangan
 - b. Pemenuhan kebutuhan manusia akan bahan pangan
 - c. Pemenuhan keinginan-keinginan manusia
 - d. Pemuasan masyarakat Indonesia
- 8) Transfer gen dapat dilakukan dari
- a. Manusia ke hewan
 - b. Hewan ke manusia
 - c. Tumbuhan ke manusia
 - d. Tidak ada jawaban yang benar
- 9) Bioteknologi dengan menggunakan teknologi rekombinasi DNA dapat dilakukan, kecuali dengan
- a. Memotong fragmen-fragmen DNA
 - b. Menyisipkan fragmen-fragmen DNA
 - c. Menyusun fragmen-fragmen DNA
 - d. Membongkar fragmen-fragmen DNA
- 10) Produk bioteknologi modern antara lain adalah
- a. Tempe, kompos, dan produk GMO
 - b. Enzim, glukosa hasil hidrolis enzimatis dan produk rekayasa genetic
 - c. Sapi kloning, rekayasa genetic, dan keju
 - d. Keju, yoghurt, dan kambing hasil cloning

5. Kunci Jawaban

- | | |
|------|-------|
| 1) A | 6) D |
| 2) C | 7) B |
| 3) B | 8) D |
| 4) B | 9) D |
| 5) C | 10) B |

6. Sumber Informasi dan Referensi

- Aregay Waktola and Bayush Tsegaye(2003). Biotechnology related policy, management and negotiation competence: case study from Ethiopia.
- Cartagena Protocol on Biosafety (2000). Cartagena Protocol on Biosafety to the convention on biological diversity: text and Annexes. Montréal.
- Diefus-Dux, H.A., Dyehouse, M., Bennett, D., & Imbrie, P.K. (2007). "Nanotechnology Awareness of First-Year Food and Agriculture Student following a Brief Exposure". Journal of Natural Resources & Life Sciences Education.
- Ex-Im bank of India (2010).biotechnology industry in India: opportunities and growth. Occasional paper.137.quest publications
- Faridah, H.D., Sari, K.S. (2019). Pemanfaatan Mikroorganism dalam Pengembangan Makanan Halal Berbasis Bioteknologi. Journal of Halal Product and Research.
- Purwianingsih, W., Rustaman, N.W., & Redjeki, S. (2009). Identifikasi Kesulitan Pembelajaran Bioteknologi pada Guru SLTA se Jawa Barat. Sekolah Pascasarjana Universitas Pendidikan Indonesia.
- Rothaar, R., Pittendirgh B.R., & Orvis K.S. (2006). "The Lego Analogy Model for Teaching Gene Sequencing and Biotechnology". J.Biological Education. 40 (4).
- Setiawati, L., Darmawati., Mahadi, I. (2007). Pengembangan LKS SMA Pada Materi Bioteknologi Konvensional Melalui Eksperimen Pembuatan Tempe Menggunakan Bahan Baku Biji Karet.
- Sutarno. (2016). Rekayasa Genetik dan Perkembangan Bioteknologi di Bidang Peternakan. *Proceeding Biology Education Conference (ISSN: 2528-5742), Vol 13(1) 2016: 23-27.*

C. Penilaian

1. **Sikap** : keikutsertaan dan partisipasi aktif dalam diskusi.
2. **Pengetahuan** : kemampuan menjawab pertanyaan dengan benar pada soal latihan.
3. **Keterampilan** : melaksanakan penerapan dalam praktik bioteknologi konvensional serta keakrifan menjawab pertanyaan di dalam kelas

Kegiatan Pembelajaran 3 :

3. Aplikasi Produk Bioteknologi Pertanian Bidang Hortikultura

A. Deskripsi

Bioteknologi adalah cabang ilmu yang mempelajari pemanfaatan makhluk hidup (bakteri, fungi, virus, dan lain-lain) maupun produk dari makhluk hidup (enzim, alkohol) dalam proses produksi untuk menghasilkan barang dan jasa. Bioteknologi secara sederhana sudah dikenal oleh manusia sejak ribuan tahun yang lalu. Pada masa ini, bioteknologi berkembang sangat pesat, terutama di negara-negara maju. Kemajuan ini ditandai dengan ditemukannya berbagai macam teknologi semisal rekayasa genetika, kultur jaringan, DNA rekombinan, pengembangbiakan sel induk, kloning, dan lain-lain.

Bioteknologi secara umum berarti meningkatkan kualitas suatu organisme melalui aplikasi teknologi. Aplikasi teknologi tersebut dapat memodifikasi fungsi biologis suatu organisme dengan menambahkan gen dari organisme lain atau merekayasa gen pada organisme tersebut. Perubahan sifat Biologis melalui rekayasa genetika tersebut menyebabkan “lahirnya organisme baru” produk bioteknologi dengan sifat - sifat yang menguntungkan bagi manusia. Aplikasi Produk Bioteknologi Pertanian Bidang Hortikultura saat ini terus dikembangkan untuk meningkatkan kualitas produk pertanian yang diinginkan.

B. Kegiatan Pembelajaran

1. Tujuan Pembelajaran

Tujuan dapat mengetahui aplikasi dan produk-produk yang dihasilkan bioteknologi pertanian dalam bidang hortikultura.

2. Uraian Materi

Bioteknologi dalam bidang pertanian adalah pemanfaatan makhluk hidup (bakteri, fungi, virus, dan lain-lain) maupun produk dari makhluk hidup (enzim, alkohol) dalam proses produksi untuk merekayasa genetika tanaman. Banyak bioteknologi yang telah dikembangkan pada saat ini. Adapun aplikasi produk bioteknologi yang telah dikembangkan dalam bidang hortikultura, diantaranya yaitu :

a. Kultur Jaringan

Usaha memperoleh suatu individu baru dari satu sel atau jaringan dikenal sebagai kultur sel atau kultur jaringan. Menurut Suryowinoto (1991), kultur jaringan dalam bahasa asing disebut *tissue culture*. Kultur jaringan adalah cara memperbanyak tumbuhan secara *in vitro* dengan cara mengisolasi bagian dari tanaman seperti protoplasma, sel, sekelompok sel, jaringan dan organ, serta menumbuhkannya dalam kondisi aseptik. Sehingga bagian-bagian tersebut dapat memperbanyak diri dan beregenerasi menjadi tanaman lengkap kembali (Kusuma, Anjar Leo. 2000). Salah satu kegunaan dan manfaat utama dari teknologi kultur jaringan adalah kloning *in vitro* dan memperbanyak tanaman secara vegetatif, yang merupakan teknologi penting dalam program pemuliaan (Wattimena *et al* (George dan Sherrington 1984; Yadav *et al.*, 1990).

Pemeliharaan media kultur yang digunakan untuk sistem kultur jaringan yang memenuhi syarat adalah media yang mengandung nutrisi makro dan mikro dalam kadar dan perbandingan tertentu, serta sumber tenaga (umumnya berupa sukrosa) (Wattimena *et al*, 2011). Dalam kultur jaringan digunakan tiga jenis media berupa: media padat, semi padat dan cair. Media padat memberikan beberapa keuntungan yaitu: bila menggunakan eksplan dengan ukuran kecil maka akan mudah terlihat, eksplan berada di atas permukaan media sehingga

tidak memerlukan alat bantu lain untuk aerasi, selain itu akar akan tumbuh teratur pada media yang diam (Arimi, Wattimena dan Gunawan, 1991).

Faktor yang paling menentukan laju pertumbuhan dan mutu tanaman yang diregenerasikan adalah eksplan awal. Eksplan adalah bagian jaringan atau organ tanaman yang digunakan sebagai bahan inisiasi kultur. Beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam pengambilan eksplan adalah bagian jaringan atau organ tanaman yang digunakan sebagai bahan inisiasi kultur. Beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam pengambilan eksplan adalah sumber eksplan, umur dan perlakuan terhadap eksplan sebelum dikulturkan (Armini, Wattimena dan Gunawan, 1991). Menurut Gunawan (1992), sebaiknya dipilih bagian-bagian yang belum banyak mengalami perubahan bentuk dan diferensiasi fungsi seperti sel-sel meristematik, kambium, parenkim daun dan parenkim tempat penyimpanan makanan, dapat juga digunakan bagian tanaman seperti: tunas bunga, daun muda, cabang, akar, umbi, anther, dan bagian-bagian embrio dapat juga digunakan.

Faktor lingkungan yang dapat mempengaruhi pertumbuhan kultur jaringan seperti: oksigen, suhu, dan cahaya adalah tiga faktor lingkungan yang turut mempengaruhi pertumbuhan suatu kultur. Menurut Gunawan (1992), kondisi yang paling utama adalah suhu dan cahaya. Suhu menentukan respon fisiologi kultur dan kecepatan pertumbuhan. Jenis tanaman hortikultura yang berhasil diperbanyak melalui kultur jaringan adalah tanaman anggrek, menyusul berbagai tanaman hias, sayuran, buah-buahan, dan tanaman hortikultura lainnya.

Kelebihan perbanyakan tanaman dengan kultur jaringan, diantaranya:

- 1) Merupakan Cara untuk menghasilkan bibit tanaman dalam jumlah banyak dengan waktu singkat.
- 2) Tidak memerlukan tempat luas, biasanya cukup dalam botol air mineral.
- 3) Tidak bergantung pada musim sehingga bisa dilaksanakan sepanjang tahun.
- 4) Bibit yang dihasilkan lebih sehat dan seragam, karena perbanyakan tanaman dilakukan dalam kondisi aseptik, bebas dari pathogen, maka saat kultur tanaman berhasil dilakukan tidak akan terjadi kehilangan tanaman karena

serangan penyakit bebas dari bakteri, jamur, virus dan mikroorganisme pengganggu yang lain.

- 5) Faktor-faktor yang berpengaruh terhadap pertumbuhan vegetatif tanaman, seperti: nutrisi (media), konsentrasi zat pengatur pertumbuhan (ZPT), kadar gula, cahaya, temperatur, kelembaban, dll. lebih mudah diatur.
- 6) Dapat diaplikasikan pada berbagai jenis tanaman yang memiliki pertumbuhan yang lambat dan sulit diperbanyak secara vegetatif.
- 7) Dapat menyimpan tanaman hasil perbanyakan dalam waktu yang lama

Kelemahan perbanyakan tanaman dengan Kultur jaringan antarlain :

- a) Membutuhkan ketrampilan yang memadai, peralatan, bahan dan biaya yang mahal, serta sarana pendukung yang mencukupi,
- b) Membutuhkan metode yang khusus dan optimum untuk menunjang keberhasilan aplikasinya pada tiap species dan tanaman,
- c) Meski dapat menghasilkan tanaman dalam jumlah yang banyak dari bagian kecil tanaman, pada kondisi tertentu dapat menghasilkan adanya penyimpangan karakter-karakter tanaman (undesirable characteristics) dan kelainan genetik (genetic aberrant),
- d) Mengingat tanaman hasil kultur in vitro terbiasa tumbuh pada medium yang cukup dengan sumber karbon, kelembaban yang tinggi dan memiliki kemampuan fotosintesis yang rendah, maka untuk memindahkan tanaman dari *kondisi in-vitro* ke kondisi *ex-vitro* diperlukan proses aklimatisasi dan adaptasi agar tanaman tidak mudah mati akibat kehilangan air dan dapat tumbuh normal pada kondisi *ex vitro*.

Teknik kultur jaringan sampai saat ini memang belum biasa dilaksanakan oleh petani, baru beberapa kalangan pengusaha swasta saja yang sudah menerapkannya, karena pelaksanaan teknik kultur jaringan tanaman memerlukan keterampilan khusus dan harus dilatar belakangi dengan ilmu pengetahuan dasar tentang fisiologi tumbuhan, anatomi tumbuhan, biologi, kimia dan pertanian. Dengan demikian jelas akan amat sulit untuk diterima oleh kalangan petani biasa. Di samping itu, pelaksanaan teknik kultur jaringan

mutlak memerlukan laboratorium khusus, walaupun dapat di usahakan secara sederhana (dalam ruang yang terbatas), namun tetap memerlukan peralatan yang memadai. Kemungkinan lain petani akan merasa enggan bekerja secara aseptik.

Kultur jaringan merupakan teknik perbanyakan tanaman secara vegetatif buatan yang didasarkan pada sifat totipotensi tumbuhan. Totipotensi merupakan kemampuan sel atau jaringan organisme untuk tumbuh menjadi individu baru (Abbas, 2011). Totipotensi tumbuhan dalam proses kultur jaringan dapat berkembang menjadi tumbuhan lengkap jika dalam kondisi yang memungkinkan. Dengan kultur jaringan dalam waktu yang bersamaan dapat menghasilkan atau memperoleh bibit tanaman dalam jumlah yang banyak.

Macam-macam kultur jaringan

Berbagai bagian tanaman dapat digunakan sebagai eksplan dalam kultur jaringan.

- a) Kultur meristem, menggunakan jaringan pada akar, batang, serta daun yang muda atau meristematik
- b) Kultur anter, menggunakan kepala sari sebagai eksplan.
- c) Kultur embrio, menggunakan embrio. Misalnya pada embrio kepala kopyor yang sulit dikembangkan secara alamiah.
- d) Kultur protoplas, menggunakan sel jaringan hidup sebagai eksplan tanpa dinding.
- e) Kultur kloroplas, menggunakan kloroplas. Kultur ini biasanya untuk memperbaiki atau membuat varietas yang baru.
- f) Kultur polen, menggunakan serbuk sari sebagai eksplannya.

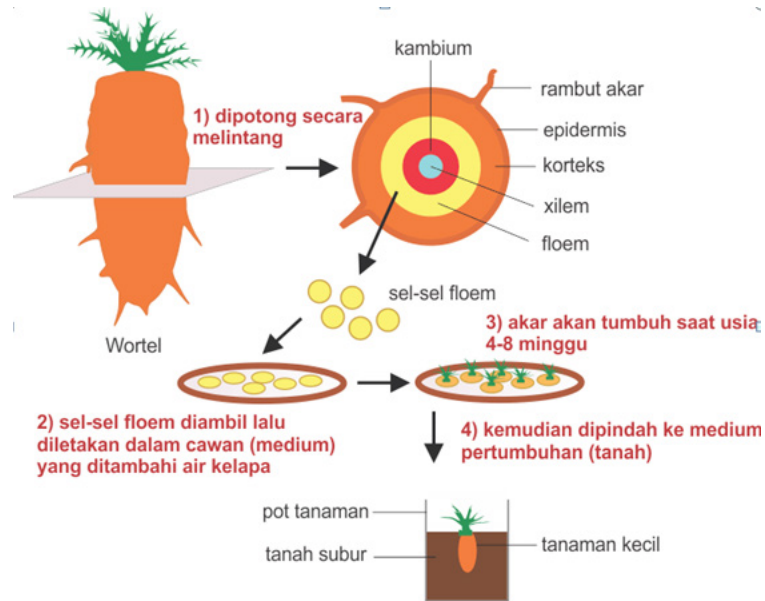
Tahapan-tahapan dalam Kultur Jaringan

Dalam proses perbanyakan atau pembibitan tanaman dengan metode kultur jaringan memerlukan beberapa tahapan sebagai berikut:

- 1) Pembuatan media

- 2) Inisiasi, yaitu suatu proses pengambilan eksplan dari bagian tanaman yang akan dilakukan proses pengkulturan. Untuk bagian tanaman sendiri yang sering kali digunakan dalam proses kegiatan kultur jaringan adalah tunas.
- 3) Sterilisasi, sterilisasi dalam proses pembibitan tanaman dengan kultur jaringan memiliki maksud bahwa segala sesuatu yang dilakukan dalam proses kultur jaringan harus dilakukan di tempat yang bersih dan steril. Sterilisasi dilakukan juga terhadap peralatannya dengan menggunakan etanol yang disemprotkan secara merata pada alat-alat yang di gunakan. Orang yang melakukan kultur jaringan juga harus steril.
- 4) Multiplikasi, merupakan kegiatan memperbanyak calon tanaman dengan cara menanam eksplan di dalam media tanamnya. Hal ini dilakukan pada laminar air flow yang bertujuan untuk menghindari adanya kontaminasi yang dapat menyebabkan gagalnya pertumbuhan eksplan.
- 5) Pengakaran, merupakan fase di mana eksplan akan memperlihatkan adanya pertumbuhan akar yang menandai bahwa proses kultur jaringan yang dilakukan mulai berjalan dengan baik sesuai yang diharapkan. Untuk dapat melihat pertumbuhan serta perkembangan akar harus dilakukan pengamatan setiap hari, hal ini juga bertujuan untuk melihat jika ada kontaminasi oleh jamur ataupun bakteri.
- 6) Aklimatisasi, merupakan kegiatan memindahkan eksplan keluar dari ruangan aseptik. Proses aklimatisasi perlu dilakukan karena tanaman yang berasal dari kultur *in vitro* sangat berbeda dengan tanaman yang dikultur secara *in vivo* dilihat dari struktur daun, akar, dan proses simbiosis (Abbas B, 2011).

Adapun contoh tahapan-tahapan dalam kultur jaringan pada ilustrasi gambar di bawah ini:



Gambar 3. Kultur Jaringan pada Wortel (sumber: www.siswapedia.com)

b. Pestisida Hayati

Dewasa ini, kesadaran masyarakat tentang dampak negatif penggunaan pestisida kimia yang semakin tumbuh telah membuat para petani memanfaatkan berbagai mikroorganisme dalam mengendalikan hama dan penyakit pada tanaman mereka. Pengendalian hama penyakit menggunakan mikroorganisme atau yang juga disebut pengendalian hayati ini sangat ramah lingkungan. Pestisida hayati termasuk kedalam biopestisida. Schumann and D'Arcy (2012), mendefinisikan biopestisida sebagai senyawa organik dan mikrobia antagonis yang menghambat atau membunuh hama dan penyakit tanaman.

Pestisida hayati merupakan formulasi yang mengandung mikroba tertentu baik berupa jamur, bakteri, maupun virus yang bersifat antagonis terhadap mikroba lainnya (penyebab penyakit tanaman) atau menghasilkan senyawa tertentu yang bersifat racun baik bagi serangga (hama) maupun nematoda (penyebab penyakit tanaman) (Junaidi, 2019). Contoh penerapan teknik ini misalnya dapat ditemukan dalam penggunaan jamur *Trhicoگرامma sp* dalam pengendalian ulat grayak, hama tanaman cabe.

Keunggulan dari biopestisida antara lain:

1. Murah dan mudah dibuat
2. Relatif aman terhadap lingkungan
3. Kandungan bahan kimianya, tidak menyebabkan keracunan pada tanaman
4. Tidak mudah menimbulkan kekebalan hama
5. Menghasilkan produk pertanian yang sehat, bebas residu pestisida kimia

Kelemahan dari biopestisida antarlain:

1. Daya kerjanya relatif lambat
2. Tidak membunuh langsung hama sasara
3. Tidak tahan sinar matahari dan tidak tahan simpan
4. Kurang praktis
5. Perlu penyemprotan yang berulang-ulang.

c. Biofertilizer (Pupuk Hayati)

Biofertilizer (pupuk hayati) merupakan campuran bakteri penambat nitrogen bebas, pelarut fosfat dan jamur pelarut hara dengan formulasi bahan pembawa yang mengandung senyawa organik alami pemacu tumbuh dan unsur mikro yang diperlukan oleh mikroba dan tanaman (Simanungkalit *et al.*, 2006). Mikrobia yang digunakan sebagai pupuk hayati (biofertilizer) dapat diberikan langsung ke dalam tanah, disertakan dalam pupuk organik atau disalutkan pada benih yang akan ditanam. Penggunaan yang menonjol dewasa ini adalah mikrobia penambat N, dan mikrobia untuk meningkatkan ketersediaan P dalam tanah.

Bentuk-bentuk inokulan pupuk mikroba yang biasa digunakan adalah biakan agar, biakan cair, biakan kering, biakan kering beku, dan tepung. Inokulan yang digunakan secara luas di lapangan adalah yang berbentuk biakan cair dan tepung. Untuk memudahkan aplikasi dilapangan diperlukan bahan pembawa (*carrier*). Sebagai bahan pembawa inokulan tepung, dapat digunakan bahan organik seperti gambut, arang, sekam, dan kompos. Untuk bahan pembawa anorganik digunakan bentonit, vermikulit, atau zeolit.

Pupuk mikrobiologis bukanlah pupuk biasa yang secara langsung meningkatkan kesuburan tanah dengan menambahkan nutrisi ke dalam tanah. Pupuk mikrobiologis menambahkan nutrisi melalui proses alami, yaitu fiksasi nitrogen atmosfer, menjadikan fosfor bahan yang terlarut, dan merangsang pertumbuhan tanaman melalui sintesis zat-zat yang mendukung pertumbuhan tanaman. Mikroorganisme dalam pupuk hayati memiliki beberapa manfaat seperti; mengembalikan siklus nutrisi alami tanah dan membentuk material organik tanah. Melalui penggunaan pupuk mikrobiologis, tanaman yang sehat dapat ditumbuhkan sambil meningkatkan keberlanjutan dan kesehatan tanah. Yang secara rinci dapat diuraikan di bawah ini:

- 1) Mengikat Nitrogen (N) yang melimpah di udara (74%), sehingga N tersedia bagi tanaman.
- 2) Mengikat Pospor (P) dan Kalium (K) yang banyak terdapat di tanah, sehingga P dan K tersedia bagi tanaman.
- 3) Mengeluarkan zat Pengatur Tumbuh (Z.P.T) yang diperlukan untuk pertumbuhan tanaman.
- 4) Menguraikan sisa-sisa limbah organik tanah untuk dijadikan sumber nutrisi tanaman.
- 5) Mengendalikan penyakit tanaman karena berisi mikroorganisme antagonis terhadap tanaman.

Menurut Andayani D *et al.* (2016), berikut adalah beberapa keunggulan dari pupuk hayati, antara lain:

- a) Menyuburkan tanah
- b) Meningkatkan aktivitas mikroorganisme tanah
- c) Meningkatkan daya serap tanah terhadap air
- d) Menyediakan hara mineral bagi tanaman
- e) Meningkatkan kualitas dan kuantitas produksi pertanian
- f) Meningkatkan daya tahan tanaman
- g) Menghasilkan produk sehat dan ramah lingkungan

h) Menghemat Biaya

Menurut Aeron *et al.* (2011) ada beberapa jenis mikroba yang berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai pupuk hayati. Bakteri tersebut antara lain: *Actinoplanes*, *Agrobacterium*, *Alcaligenes*, *Amorphosporangium*, *Arthrobacter*, *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Bacillus*, *Burkholderia*, *Cellulomonas*, *Enterobacter*, *Erwinia*, *Flavobacterium*, *Gluconacetobacter*, *Microbacterium*, *Micromonospora*, *Pseudomonas*, *Rhizobia*, *Serratia*, *Streptomyces*, *Xanthomonas*.

3. Rangkuman

Bioteknologi secara umum berarti meningkatkan kualitas suatu organisme melalui aplikasi teknologi. Aplikasi teknologi yang memodifikasi fungsi biologis suatu organisme dengan menambahkan gen dari organisme lain atau merekayasa gen pada organisme tersebut dapat merubah sifat Biologis melalui rekayasa genetika tersebut menyebabkan “lahirnya organisme baru” produk bioteknologi dengan sifat - sifat yang menguntungkan bagi manusia. Beberapa contoh aplikasi produk Bioteknologi Pertanian bidang Hortikultura antaralain: Kultur jaringan, Pestisida hayati dan *Biofertilizer* (pupuk hayati).

4. Soal Latihan

- 1) Sebutkan dan berikan penjelasan beberapa penerapan bioteknologi di bidang hortikultura?
- 2) Berikan penjelasan mengapa teknik kultur jaringan sampai saat ini sulit diterapkan oleh petani, baru beberapa kalangan pengusaha swasta saja yang sudah menerapkannya?
- 3) Sebutkan keuntungan penerapan bioteknologi dengan cara aeroponik dibandingkan hidroponik?

5. Kunci Jawaban

- 1) Penerapan Bioteknologi dalam bidang hortikultura, antaralain:

- a) Kultur Jaringan

Kultur jaringan adalah cara perbanyakan tumbuhan secara *in vitro* dengan cara mengisolasi bagian dari tanaman seperti protoplasma, sel, sekelompok sel,

jaringan dan organ, serta menumbuhkannya dalam kondisi aseptik. Sehingga bagian-bagian tersebut dapat memperbanyak diri dan beregenerasi menjadi tanaman lengkap kembali.

b) Hidroponik

Hidroponik adalah cara bercocok tanam tanpa menggunakan media tanah, budidaya tanaman ini lebih mengutamakan media air yang telah dicampur dengan nutrisi.

c) Pestisida Hayati

Pestisida hayati merupakan formulasi yang mengandung mikroba tertentu baik berupa jamur, bakteri, maupun virus yang bersifat antagonis terhadap mikroba lainnya (penyebab penyakit tanaman) atau menghasilkan senyawa tertentu yang bersifat racun baik bagi serangga (hama) maupun nematoda (penyebab penyakit tanaman)

d) *Biofertilizer* (pupuk hayati)

Biofertilizer (pupuk hayati) merupakan campuran bakteri penambat nitrogen bebas, pelarut fosfat dan jamur pelarut hara dengan formulasi bahan pembawa yang mengandung senyawa organik alami pemacu tumbuh dan unsur mikro yang diperlukan oleh mikroba dan tanaman

2) Alasan mengapa petani sulit menerapkan teknik kultur jaringan antara lain:

- a) Pelaksanaan teknik kultur jaringan tanaman memerlukan keterampilan khusus
- b) Harus dilatar belakangi dengan ilmu pengetahuan dasar tentang fisiologi tumbuhan, anatomi tumbuhan, biologi, kimia dan pertanian.
- c) Pelaksanaan teknik kultur jaringan memerlukan laboratorium khusus, walaupun dapat di usahakan secara sederhana (dalam ruang yang terbatas), namun tetap memerlukan peralatan yang memadai.
- 3) Jika di bandingkan dengan hidroponik, aeroponik lebih menguntungkan karena oksigenisasi dari setiap butir kabut akan tesorap ke dalam akar sehingga respirasi akan lancar dan menghasilkan banyak energi.

6. Sumber Informasi dan Referensi

- Abbas Barahima. 2011. Prinsip Dasar Teknik Kultur Jaringan. Alfabeta. Bandung.
- Agriflo. 2016. Urban Farming Bertani Kreatif Sayur, Hias, & Buah. Agriflo. Jakarta.
- Andayani D, Kodri M, Octaviana RS, Rangkuti RP, Suradi S. 2016. Bioteknologi Pupuk Hayati. Fakultas Pertanian Perikanan dan Biologi Universitas Bangka Belitung. Pangkal Pinang.
- Gunawan L. W. 1992. Tehnik Kultur jaringan Tanaman. Laboratorium Kultur Jaringan Tanaman. PAU. Bioteknologi Tanaman. Institut Pertanian Bogor. Bogor. 162 hal.
- Hodges, J. 2000. Why Livestock, Ethics and Quality of Life? In: Livestock, Ethics and Quality of Life. J. Hodges dan In K. han (Eds). CABI Publishing, New York, USA.
- Junaedi A. 2019. Biopestisida Sebagai Pengendali Organisme Pengganggu Tanaman (OPT) yang Ramah Lingkungan. Jurnal EMBRYO VOL. 6 NO. 1. hlm: 88-95.
- Kusuma, Anjar Leo. 2000. Teori-teori Kultur Jaringan Materi Ajar. jogjakarta : UGM. Diakses pada tanggal 05 Oktober 2019.
- Simanungkalit, R. D. M., Didi, A. S., Rasti, S., Diah, S., & Wiwik, H. 2006. Pupuk Organik dan Pupuk Hayati. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian. Jawa Barat.
- Schumann, G.L. and Gleora J.D' Arcy. 2012. Hungry planet, stories of plantd. The American Phytopathological Society. St Paul, Minnesota, USA. 294 p.
- Suryowinoto. 1996. Pemuliaan Tanaman Secara In vitro. Yogyakarta: Kanisius.
- George E. F. & Sherington P. D. 1984. Plant Propagation by Tissue Culture. Exegetics Ltd. England. 709 P.

C. Penilaian

1. **Sikap** : keikutsertaan dan partisipasi aktif dalam diskusi.
2. **Pengetahuan** : kemampuan menjawab pertanyaan dengan benar soal latihan.
3. **Keterampilan** : melaksanakan penerapan aplikasi produk bioteknologi dalam bidang hortikultura.

Kegiatan Pembelajaran 4 :**4. Peran Mikroba dalam Bidang Produksi Tanaman Hortikultura****A. Deskripsi**

Mikroba merupakan organisme berukuran kecil (< 1 mm), tidak terlihat oleh mata telanjang. Jenis mikroba yang dapat dimanfaatkan dalam bidang pertanian tanaman hortikultura yaitu bakteri, jamur, virus dan nematoda.

Beberapa alasan mengapa mikroba dijadikan subyek pada berbagai proses bioteknologi dibidang pertanian adalah:

- 1) Perkembangan mikroba yang sangat cepat
- 2) Mudah diperoleh di lingkungan kita
- 3) Sifat mikroorganisme yang mudah dimodifikasi melalui teknik rekayasa genetika sehingga dapat menghasilkan produk yang sesuai dengan yang diinginkan
- 4) Mikroba dapat menghasilkan berbagai produk yang dibutuhkan oleh manusia tanpa tergantung pada musim dan kondisi lingkungan.

Peranan mikroba bidang produksi tanaman hortikultura sangat penting terutama dalam mengubah nutrisi dalam tanah dan melindungi tanaman, serta meningkatkan pertumbuhan. Penggunaan mikroba akan menggantikan pupuk non-organik, pestisida, dan penumbuh tanaman buatan, yang berpotensi merusak tanah. Dalam hal penyediaan dan penyerapan unsur hara bagi tanaman (*biofertilizer*), aktivitas mikroba diperlukan untuk menjaga ketersediaan tiga unsur hara yang penting bagi tanaman antara lain: Nitrogen (N), fosfat (P), dan kalim (K). Kurang lebih 74% kandungan udara adalah N. Namun, N udara tersebut harus ditambat oleh mikroba dan diubah bentuknya terlebih dahulu agar bisa langsung dimanfaatkan oleh tanaman. Mikroba penambat N ada yang hidup bebas dan ada pula yang bersimbiosis. Mikroba penambat N simbiotik antara lain: *Rhizobium* sp yang hidup di dalam bintil akar tanaman kacang-kacangan (*Leguminose*). Mikroba penambat N non-simbiotik misalnya: *Azospirillum* sp dan *Azotobacter* sp. Mikroba penambat N simbiotik hanya bisa digunakan untuk tanaman leguminose saja, sedangkan mikroba penambat N

non-simbiotik dapat digunakan untuk semua jenis tanaman. Unsur fosfat (P) dan kalium (K). Kandungan P yang cukup tinggi (jenuh) pada tanah pertanian kita, sedikit sekali yang dapat digunakan oleh tanaman karena terikat pada mineral liat tanah. Peran mikroba pelarut P yang melepaskan ikatan P dari mineral liat dan menyediakannya bagi tanaman, antara lain: *Aspergillus* sp, *Penicillium* sp, *Pseudomonas* sp dan *Bacillus megatherium*. Mikroba yang berkemampuan tinggi melarutkan P, umumnya juga berkemampuan tinggi dalam melarutkan K.

Mikroba berfungsi sebagai agen biokontrol. Mikroba yang dapat mengendalikan hama tanaman antara lain: *Bacillus thurigiensis* (BT), *Bauveria bassiana* , *Paecilomyces fumosoroseus*, dan *Metharizium anisopliae* . Mikroba ini mampu menyerang dan membunuh berbagai serangga hama. Mikroba yang dapat mengendalikan penyakit tanaman misalnya: *Trichoderma* sp yang mampu mengendalikan penyakit tanaman yang disebabkan oleh *Gonoderma* sp, JAP (jamur akar putih), dan *Phytophthora* sp.

B. Kegiatan Pembelajaran

1. Tujuan Pembelajaran

Tujuan dapat memahami peranan mikroba dalam pengaplikasiannya di bidang pertanian, jenis-jenis mikroba serta pemanfaatan mikroba dalam bidang Pertanian hortikultura.

2. Uraian Materi

a. Jenis- Jenis Mikroba

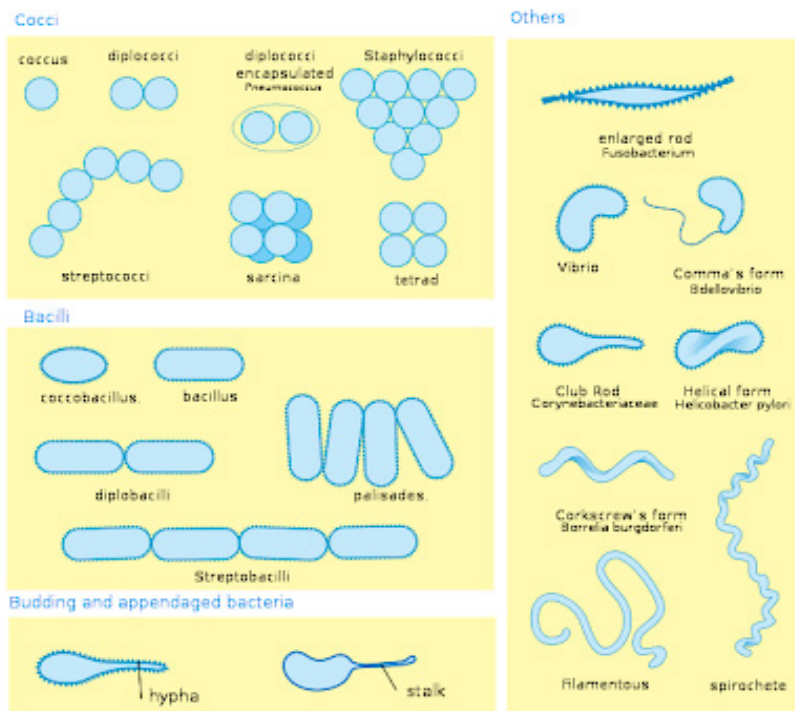
Mikroorganisme (mikroba) adalah organisme yang berukuran sangat kecil sehingga tidak dapat dilihat dengan mata telanjang. Mikroorganisme dapat disebut mikroba atau jasad renik. Tanah yang subur mengandung lebih dari 100 juta mikroorganisme per gram tanah. Produktivitas dan daya dukung tanah tergantung pada aktivitas mikroorganisme tersebut. Sebagian besar mikroorganisme tanah memiliki peranan yang menguntungkan, yaitu berperan dalam menghancurkan limbah organik, siklus hara tanaman, fiksasi nitrogen, pelarut posfat, merangsang pertumbuhan, biokontrol patogen, dan membantu penyerapan unsur hara. Tetapi ada juga mikroorganisme yang merugikan seperti

penyebab penyakit pada tanaman hortikultura yang berpotensi merugikan dan menurunkan hasil produksi.

Mikroba selain bersifat sebagai patogen, mikrobia juga ada yang bersifat menguntungkan dan dapat digunakan sebagai agen biokontrol terhadap hama dan penyakit tanaman. Jenis-jenis kelompok mikroba yang dapat dimanfaatkan dalam bidang pertanian tanaman hortikultura terdiri dari bakteri, jamur, virus dan nematoda. Adapun karakteristik mikrobia secara umum dapat dijelaskan di bawah ini:

1) Bakteri

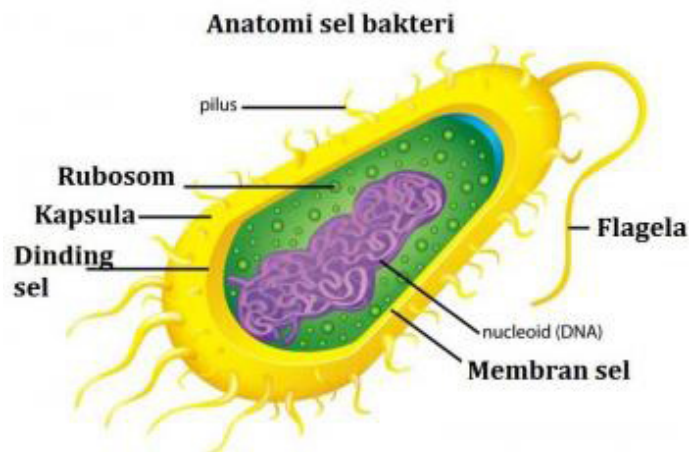
Bakteri merupakan organisme tanah yang paling banyak populasinya di dalam tanah. Bentuk bakteri beragam antara lain bulat (*cocci*), batang (*bacilli*), dan spiral. Bakteri juga dapat bersifat *pleomorphic* yaitu tidak memiliki bentuk yang tetap.



Gambar 4. Bentuk-bentuk Bakteri (Sumber: id.wikipedia.org.)

Ciri khas bakteri yaitu tidak memiliki membran inti dan bersel satu, berukuran 0,5 um dan ada juga yang dapat berukuran lebih dari itu yaitu sekitar 10-100 um,

tidak berklorofil, dan vibrio seperti tanda baca koma, pada dinding sel bakteri tersusun atas mukopoliskarida dan peptidoglikan. Popitoglikan sendiri terdiri dari polimer besar yang tersusun atas N-asetil glukosamin dan N-asetil muramat yang saling berikatan, memiliki kemampuan dengan mengekresikan lendir di permukaan dinding sebagai perlindungan yang berbentuk kapsul.



Gambar 5. Anatomi Sel Bakteri (sumber: hisham.id.)

Populasi bakteri yang paling banyak dijumpai di dalam tanah adalah dari famili *Corynebacteriaceae* yang jumlahnya mencapai sekitar 65% dari total populasi bakteri yang terdapat di dalam tanah. Tempat kedua diduduki oleh *Bacillus* yang populasinya mencapai 25% dari total populasi bakteri tanah. Sedangkan yang 10% ditempati oleh jenis-jenis *Agrobacterium*, *Azotobacter*, *Nitrosomonas*, *Nitrobacter*, *Rhizobium*, *Pseudomonas*, *Achromobacter*, *Clostridium*, dan *Spirillum* (Hanafiah et al., 2009).

Jenis bakteri yang menguntungkan yang dapat digunakan diantaranya: *Actinoplanes*, *Agrobacterium*, *Alcaligenes*, *Amorphosporangium*, *Arthrobacter*, *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Bacillus*, *Burkholderia*, *Cellulomonas*, *Enterobacter*, *Erwinia*, *Flavobacterium*, *Gluconacetobacter*, *Microbacterium*, *Micromonospora*, *Pseudomonas*, *Rhizobia*, *Serratia*, *Streptomyces*, *Xanthomonas*.

2) Jamur

Jamur adalah tumbuhan yang tidak mempunyai klorofil sehingga bersifat heterotrof. Tubuhnya terdiri dari benang-benang yang disebut hifa. Hifa dapat

membentuk anyaman bercabang-cabang yang disebut miselium. Beberapa jamur yang biasa ditemukan yang bersifat menguntungkan bagi tanaman adalah:

a) *Trichoderma sp.*

Walaupun jamur *Trichoderma sp* merupakan salah satu jenis jamur mikoparasit, artinya bersifat parasitik terhadap jenis jamur lain namun *Trichoderma sp* mempunyai kemampuan untuk mengkolonisasi rhizosfer dengan cepat dan melindungi akar dari serangan jamur penyakit, mempercepat pertumbuhan tanaman dan meningkatkan hasil produksi tanaman.

b) Mikoriza vesikular-arbuskular

Manfaat Mikoriza vesikular-arbuskular antarlain:

- ✓ memperbaiki hasil tumbuhan dan mengurangi masukan pupuk pada tanaman pertanian. Dengan cara meningkatkan penyerapan fosfat diiringi dengan peningkatan penyerapan hara lain, seperti nitrogen (N), seng (Zn), tembaga (Cu), dan belerang (S).
- ✓ MVA memperluas ruang tanah yang dapat dijangkau oleh tanaman inang. Inokulasi ini dapat mengarah pada menurunnya penggunaan pupuk P.
- ✓ Meningkatkan ketersediaan hara
- ✓ Meningkatkan toleransi tumbuhan terhadap kurangnya pasokan air.
- ✓ MVA memengaruhi ketahanan tumbuhan inang terhadap serangan penyakit. MVA, tergantung jenisnya, dapat mengurangi pengaruh serangan jamur patogen. Demikian pula, juga dapat mengurangi serangan nematoda. Sebaliknya, tumbuhan yang terinfeksi MVA menurun ketahanannya terhadap serangan virus.
- ✓ Memperbaiki struktur agregasi tanah.

c) *Metarhizium*

d) Jamur *Beauveria bassiana*

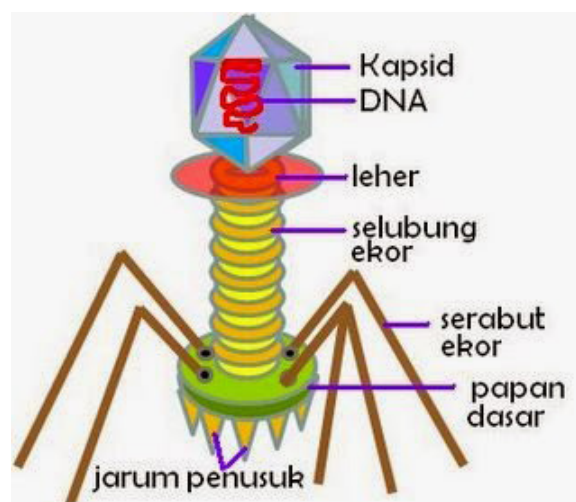
Jamur *Metarhizium* dan Jamur *Beauveria bassiana* merupakan jamur yang menguntungkan yang dapat digunakan sebagai agen biokontrol untuk mengendalikan hama pada tanaman.

Peran ekologi jamur yaitu berperan dalam dinamika air/drainase, siklus hara dan pengendalian penyakit, bersama dengan bakteri, jamur berperan penting dalam proses dekomposisi pada rantai makanan tanah, jamur dapat mengkonversi bahan organik menjadi bahan yang dapat dimanfaatkan oleh organisme lain, hifa jamur secara fisik berfungsi sebagai perekat pada agregat tanah sehingga dapat memperbaiki stabilitas agregat tanah yang dapat meningkatkan infiltrasi dan kapasitas menahan air.

3) Virus

Menurut klasifikasi Bergey, virus termasuk ke dalam divisio Protophyta, kelas Mikrotatobioetes dan ordo Virales (Virus). Salah satu ciri virus adalah memiliki ukuran yang sangat kecil, ukurannya lebih kurang 30-100 kali lebih kecil dibanding bakteri. Hingga kini Hingga ini diketahui ukuran virus yang terbesar sekitar 450 nanometer atau kurang lebih 0,0004556 MM. Bentuk virus juga bervariasi ada yang berbentuk batang dan juga silinder ataupun bulat kubus oval seperti huruf T. atau Icosahedral. Semua Virus memiliki struktur tubuh yang sangat sederhana sehingga lebih mirip dengan paket kimiawi dibanding dengan makhluk hidup. Untuk mempermudah dalam pemahaman struktur tubuh virus sebagai contohnya digunakan struktur tubuh virus T yang menyerang bakteriofag.

Perhatikan gambar struktur virus T berikut:



Gambar 6. Struktur dan Bentuk Virus Bakteriofag

(Sumber: pustaka.pandani.web.id.)

Untuk mengetahui struktur virus secara umum kita gunakan bakteriofage (virus T), strukturnya terdiri dari:

a. Kepala

Kepala virus berisi DNA dan bagian luarnya diselubungi kapsid.

Satu unit protein yang menyusun kapsid disebut kapsomer.

b. Kapsid

Kapsid adalah selubung yang berupa protein. Kapsid terdiri atas kapsomer.

Kapsid juga dapat terdiri atas protein monomer yang terdiri dari rantai polipeptida. Fungsi kapsid untuk memberi bentuk virus sekaligus sebagai pelindung virus dari kondisi lingkungan yang merugikan virus.

c. Isi tubuh

Bagian isi tersusun atas asam inti, yakni DNA saja atau RNA saja. Bagian isi disebut sebagai virion. DNA atau RNA merupakan materi genetik yang berisi kode-kode pembawa sifat virus. Selain itu di dalam isi virus terdapat beberapa enzim.

d. Ekor - Ekor virus merupakan alat untuk menempel pada inangnya.

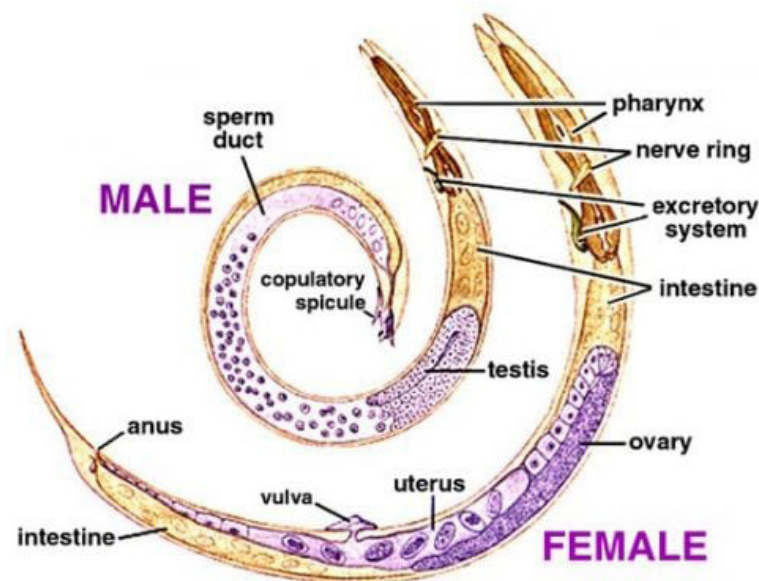
Ekor virus terdiri atas tubus bersumbat yang dilengkapi benang atau serabut. Virus yang menginfeksi sel eukariotik tidak mempunyai ekor.

Asam nukleat genom virus dapat berupa DNA ataupun RNA. Genom virus dapat terdiri dari DNA untai ganda, DNA untai tunggal, RNA untai ganda, atau RNA untai tunggal. Selain itu, asam nukleat genom virus dapat berbentuk linear tunggal atau sirkuler. Jumlah gen virus bervariasi dari empat untuk yang terkecil sampai dengan beberapa ratus untuk yang terbesar. Bahan genetik kebanyakan virus hewan dan manusia berupa DNA, dan pada virus tumbuhan kebanyakan adalah RNA yang beruntai tunggal. Bahan genetik virus diselubungi oleh suatu lapisan pelindung. Protein yang menjadi lapisan pelindung tersebut disebut kapsid. Bergantung pada tipe virusnya, kapsid bisa berbentuk bulat (sferik), heliks, polihedral, atau bentuk yang lebih kompleks dan terdiri atas protein yang disandikan oleh genom virus. Kapsid terbentuk dari banyak subunit protein yang disebut kapsomer.

Beberapa dari virus merupakan patogen yang menyerang dan merusak susunan dari tumbuhan yang ada di bumi. Namun, virus sendiri juga ada yang bersifat menguntungkan, seperti: virus sebagai pembuat vaksin, media isolasi genik, pembunuh bakteri dan pembuatan anti toksin.

4) Nematoda

Nematoda (Yunani, nema = benang, ode = seperti) adalah cacing yang berbentuk bulat panjang (gilik) atau seperti benang. Nematoda ini memiliki bentuk tubuh dan ukuran yang beragam mulai dibawah ukuran 1 mm sampai lebih dari 1 mm. Nematoda hidup di air tawar dan darat, umumnya berukuran kurang dari 1mm, sedangkan yang hidup di laut mencapai 5 cm. Untuk cacing yang betina memiliki ukuran lebih besar dibandingkan dengan yang cacing jantan. Individu jantan memiliki ujung posterior yang berbentuk kait.



Gambar 7. Struktur Nematoda Jantan dan Betina

(Sumber: gurupendidikan.co.id.)

Secara umum nematoda adalah suatu organisme dengan ciri-ciri sebagai berikut :

- a) Bentuk tubuhnya silindris memanjang, kecuali pada jenis betina genera tertentu bentuk tubuhnya menggelembung seperti kantung, buah jeruk, atau buah peer.

- b) Tubuhnya tidak bersegmen (unsegmented)
- c) Merupakan binatang triploblastic, artinya dinding tubuhnya terdiri atas 3 lapisan blastula.
- d) Tubuhnya bilateral simetris
- e) Termasuk binatang "pseudocoelomate" atau "false cavity" artinya mempunyai rongga tubuh semu.
- f) Tubuhnya transparan (tembus cahaya), jika terlihat berwarna adalah warna makanannya.
- g) Mempunyai semua organ fisiologi, kecuali organ respirasi dan organ sirkulasi.

Nematoda merupakan hewan triploblastik dan pseudoselomata (berongga tubuh semu). Nematoda memainkan peran yang sangat penting dalam dekomposisi dan siklus hara, di mana mereka sering sebagai pengurai menengah yang sebagian memecah bahan organik sehingga mereka kemudian dapat ditangani oleh bakteri pengurai.

Populasi mikroorganisme di dalam tanah bersama dengan berbagai bentuk binatang dan berbagai jenis tanaman tingkat lebih tinggi membentuk suatu sistem kehidupan yang tidak terpisahkan dari bahan mineral dan bahan organik di dalam tanah. Populasi mikroorganisme di dalam tanah selain bahan mineral dan bahan organik dipengaruhi oleh keadaan iklim daerah, tanaman yang tumbuh, reaksi yang berlangsung di dalam tanah dan kelembaban tanah (Sutedjo *et al.*, 1996). Bakteri dan fungi merupakan mikroorganisme yang paling penting dalam tanah yang berhubungan dengan dekomposisi dan siklus hara, selain itu menurut Alexander (1977), pada tanah-tanah yang mempunyai aerasi yang baik, bakteri dan fungi sangat dominan, sebaliknya bakteri sendiri terlibat hampir semua proses biologi dan perubahan kimia dalam lingkungannya yang mengandung sedikit atau tanpa O₂ (Alexander, 1977).

Tabel 2. Distribusi Mikroorganisme dalam Horison dari Suatu Profil Tanah

Kedalaman (cm)	Organisme/gr tanah x 10 ³				
	Bakteri aerob	Bakteri anaerob	Actinomycetes	Fungi	Algae
3-8	7.800	1.950	2.080	119	5
20-25	1.800	379	245	50	5
35-40	472	98	49	14	0,5
65-75	10	1	5	6	0,1
135-145	1	0,4	-	3	-

Jumlah mikroba yang ada di dalam tanah dipengaruhi oleh berbagai kondisi yang mempengaruhi pertumbuhannya, seperti kondisi faktor biotik dan abiotik yang mendukung perkembangannya. Populasi mikroba yang terbesar terdapat di horison permukaan. Mikroorganisme tanah lebih banyak ditemukan pada permukaan tanah karena bahan organik lebih tersedia. Oleh karena itu mikroorganisme lebih banyak berada pada lapisan tanah yang paling atas. (Alexander,1977).

b. Faktor-faktor yang Mempengaruhi Pertumbuhan Mikroba

Setiap spesies mikroorganisme mempunyai persyaratan tertentu untuk pertumbuhannya dan jika lingkungannya tidak sesuai, pertumbuhan atau aktivitasnya akan menurun sehingga mempengaruhi total populasinya. Faktor-faktor yang mempengaruhi pertumbuhan mikroba yaitu faktor biotik dan faktor abiotik. faktor abiotik yang mempengaruhi pertumbuhan dan peningkatan populasi mikroba dalam tanah antarlain:

1) Suhu

Pertumbuhan mikroba memerlukan kisaran suhu tertentu. Kisaran suhu pertumbuhan dibagi menjadi suhu minimum, suhu optimum, dan suhu maksimum. Suhu minimum adalah suhu terendah tetapi mikroba masih dapat hidup. Suhu optimum adalah suhu paling baik untuk pertumbuhan mikroba. Suhu maksimum adalah suhu tertinggi untuk kehidupan mikroba. Berdasarkan kisaran suhu pertumbuhannya, mikroba dapat dikelompokkan menjadi mikroba psikrofil (kriofil), mesofil, dan termofil. Psikrofil adalah kelompok mikroba yang dapat tumbuh pada suhu 0-30o C dengan suhu optimum sekitar

15°C. Secara umum mikroba tumbuh baik pada suhu di atas 20°C dan di bawah 60°C. Bakteri memiliki toleransi rendah terhadap suhu tinggi kecuali jenis termofilic, sedangkan kelompok fungi masih dapat bertahan pada temperatur di atas 70°C.

2) Kelembaban

Di dalam tanah, mikroorganismenya umumnya aktif pada kelembaban > 15 bar (*kapasitas lapang 1/3 bar, titik layu 15 bar*). Beberapa mikroorganismenya yang termasuk fungi dan khamir dapat tumbuh pada tekanan 70 bar.

3) Kadar Air

Ketersediaan air menjadi syarat mutlak bagi pertumbuhan mikroorganismenya, namun jumlah air yang berlebihan akan menghambat pertumbuhan bagi mikroba yang bersifat aerob. Jenis fungi lebih toleran terhadap kondisi kadar air rendah. Air mempengaruhi aktivitas mikroorganismenya sebab air merupakan komponen utama dari protoplasma. Air yang berlebih akan membatasi pertukaran gas sehingga menurunkan suplai O₂, lingkungan akan menjadi anaerob.

4) Kadar ion hidrogen (pH)

Mikroba umumnya menyukai pH netral (pH 7). Beberapa bakteri dapat hidup pada pH tinggi (medium alkalin). Contohnya adalah bakteri nitrat, rhizobia, actinomycetes, dan bakteri pengguna urea. Hanya beberapa bakteri yang bersifat toleran terhadap kemasaman, misalnya *Lactobacilli*, *Acetobacter*, dan *Sarcina ventriculi*. Bakteri yang bersifat asidofil misalnya *Thiobacillus*. Jamur umumnya dapat hidup pada kisaran pH rendah. Apabila mikroba ditanam pada media dengan pH 5 maka pertumbuhan didominasi oleh jamur, tetapi apabila pH media 8 maka pertumbuhan didominasi oleh bakteri. Berdasarkan pH-nya mikroba dapat dikelompokkan menjadi 3 yaitu (a) mikroba asidofil, adalah kelompok mikroba yang dapat hidup pada pH 2,0-5,0, (b) mikroba mesofil (neutrofil), adalah kelompok mikroba yang dapat hidup pada pH 5,5-8,0, dan (c) mikroba alkalifil, adalah kelompok mikroba yang dapat hidup pada pH 8,4-9,5.

Tabel 3. Contoh pH Minimum, Optimum, dan Maksimum untuk Beberapa Jenis Bakteri

Nama mikroba	Ph		
	minimum	optimum	Maksimum
<i>Escherichia coli</i>	4,4	6,0-7,0	9,0
<i>Proteus vulgaris</i>	4,4	6,0-7,0	8,4
<i>Enterobacter aerogenes</i>	4,4	6,0-7,0	9,0
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	5,6	6,6-7,0	8,0
<i>Clostridium sporogenes</i>	5,0-5,8	6,0-7,6	8,5-9,0
<i>Nitrosomonas spp</i>	7,0-7,6	8,0-8,8	9,4
<i>Nitrobacter spp</i>	6,6	7,6-8,6	10,0
<i>Thiobacillus Thiooxidans</i>	1,0	2,0-2,8	4,0-6,0
<i>Lactobacillus acidophilus</i>	4,0-4,6	5,8-6,6	6,8

5) Radiasi

Radiasi menyebabkan ionisasi molekul-molekul di dalam protoplasma. Cahaya umumnya dapat merusak mikroba yang tidak mempunyai pigmen fotosintesis. Cahaya mempunyai pengaruh germisida, terutama cahaya bergelombang pendek dan bergelombang panjang. Pengaruh germisida dari sinar bergelombang panjang disebabkan oleh panas yang ditimbulkannya, misalnya sinar inframerah. Sinar x (0,005-1,0 Ao), sinar ultra violet (4000-2950 Ao), dan sinar radiasi lain dapat membunuh mikroba. Jenis bakteri memiliki toleransi lebih tinggi terhadap sinar. Sedangkan jenis jamur lebih peka terhadap sinar. Apabila tingkat radiasi yang diterima sel mikroba rendah, maka dapat menyebabkan terjadinya mutasi pada mikroba.

Faktor biotik yang mempengaruhi pertumbuhan dan peningkatan populasi mikroba dalam tanah antara lain:

1) Interaksi dalam satu populasi mikroba

Interaksi antar jasad dalam satu populasi yang sama ada dua macam, yaitu interaksi positif maupun negatif. Interaksi positif menyebabkan meningkatnya kecepatan pertumbuhan sebagai efek sampingnya. Peningkatnya kepadatan populasi, secara teoritis meningkatkan kecepatan pertumbuhan. Interaksi

positif disebut juga kooperasi. Sebagai contoh adalah pertumbuhan satu sel mikroba menjadi koloni atau pertumbuhan pada fase lag (fase adaptasi). Interaksi negatif menyebabkan turunnya kecepatan pertumbuhan dengan meningkatnya kepadatan populasi. Misalnya populasi mikroba yang ditumbuhkan dalam substrat terbatas, atau adanya produk metabolik yang meracun. Interaksi negatif disebut juga kompetisi. Sebagai contoh jamur *Fusarium* dan *Verticillium* pada tanah sawah, dapat menghasilkan asam lemak dan H₂S yang bersifat meracun.

2) Interaksi antar berbagai macam populasi mikroba

Apabila dua populasi yang berbeda berasosiasi, maka akan timbul berbagai macam interaksi. Interaksi tersebut menimbulkan pengaruh positif, negatif, ataupun tidak ada pengaruh antar populasi mikroba yang satu dengan yang lain. Nama masing-masing interaksi antaralain: Netralisme, Komensalisme, Sinergisme (protokooperasi), Mutualisme (simbiosis), Kompetisi, Amensalisme (antagonisme), Predasi, dan Parasitisme.

c. Peranan mikroba dalam pengaplikasiannya di bidang Tanaman hortikultura

Populasi mikroba tanah pada permukaan dan lapisan olah tanah mencapai puluhan juta setiap gram tanah, yang merupakan bagian integral dan pembentuk kesuburan tanah pertanian. Proses daur ulang secara alamiah di permukaan dan lapisan olah tanah yang sangat penting bagi kegiatan pertanian tidak terjadi tanpa aktivitas mikroba. Manfaat mikroba dalam usaha pertanian belum disadari sepenuhnya, bahkan sering diposisikan sebagai komponen habitat yang merugikan, karena pandangan umum terhadap mikroba lebih terfokus secara selektif pada mikroba patogen yang menimbulkan penyakit khususnya pada tanaman hortikultura. Padahal sebagian besar spesies mikroba merupakan mikro flora yang bermanfaat, kecuali beberapa jenis spesifik yang dapat menyebabkan penyakit bagi tanaman.

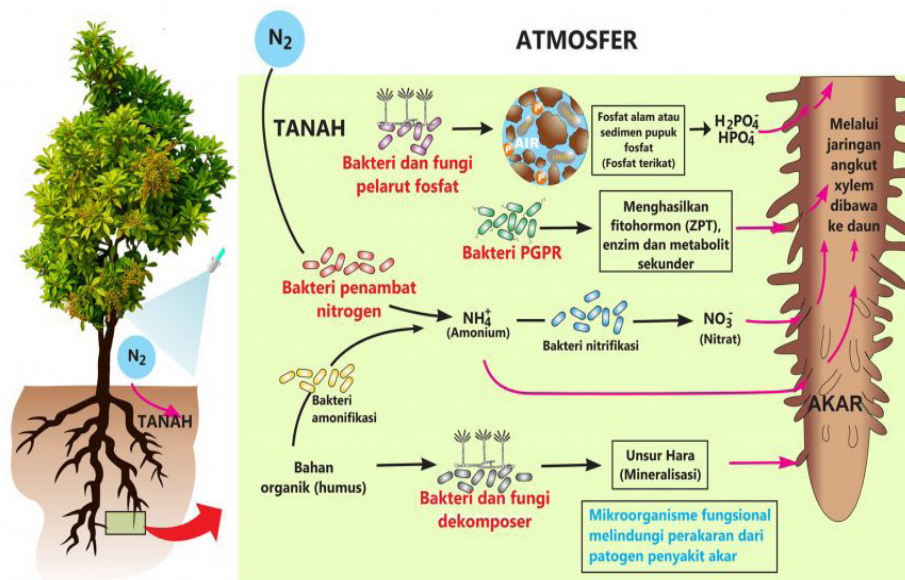
Saraswati *et al.* (2004) secara umum menggolongkan fungsi mikroba menjadi empat, yaitu:

- ✓ meningkatkan ketersediaan unsur hara tanaman dalam tanah,

- ✓ sebagai perombak bahan organik dalam tanah dan mineralisasi unsur organik,
- ✓ bakteri rizosfer-endofitik untuk memacu pertumbuhan tanaman dengan membentuk enzim dan melindungi akar dari mikroba patogenik,
- ✓ sebagai agensia hayati pengendali hama dan penyakit tanaman. Berbagai reaksi kimia dalam tanah juga terjadi atas bantuan mikroba tanah (Yoshida, 1978).

Menurut Sharma (2002), peran mikroba tanah yang bermanfaat melalui berbagai aktivitasnya yaitu:

- ✓ Meningkatkan kandungan beberapa unsur hara di dalam tanah.
- ✓ Meningkatkan ketersediaan unsur hara di dalam tanah.
- ✓ Meningkatkan efisiensi penyerapan unsur hara
- ✓ Menekan mikroba tular tanah patogen melalui interaksi kompetisi.
- ✓ Memproduksi zat pengatur tumbuh yang dapat meningkatkan perkembangan sistem perakaran tanaman.
- ✓ Meningkatkan aktivitas mikroba tanah heterotrof yang bermanfaat melalui aplikasi bahan organik.



Gambar 8. Manfaat dan Fungsi Mikroba bagi Tanaman
(Sumber: bioloveindonesia.com.)

Pada lahan sawah yang tergenang air terdapat lebih dari 20 jenis bakteri fiksasi N₂ dari udara yang hidup secara bebas (Watanabe 1978). Mikroba berguna (*effective microorganism*) sebagai komponen habitat alam mempunyai peran dan fungsi penting dalam mendukung terlaksananya pertanian ramah lingkungan melalui berbagai proses, seperti: dekomposisi bahan organik, mineralisasi senyawa organik, fiksasi biologis nitrogen, *recycling* hara tanaman, pelarutan fosfat, biokontrol patogen, nitrifikasi dan denitrifikasi. Fungi di dalam tanah mampu menyatukan butir tanah menjadi agregat, sedangkan bakteri berfungsi sebagai semen yang menyatukan agregat. Hasilnya adalah tanah yang lebih gembur berstruktur remah dan relatif lebih ringan.

Berikut akan diuraikan peranan mikroba dalam pengaplikasiannya di bidang Tanaman hortikultura antara lain:

1) Peran Mikroba Tanah dalam Penyediaan dan Penyerapan Unsur Hara

Tanaman dapat menyerap unsur hara melalui akar atau melalui daun. Sebagian besar unsur hara diserap dari dalam tanah, hanya sebagian kecil yaitu unsur C dan O diambil tanaman dari udara melalui stomata. Tanaman menyerap unsur hara dari dalam tanah umumnya dalam bentuk ion (NH₄⁺, NO₃⁻, H₂PO₄⁻, K⁺, 23Ca²⁺, dll). Unsur hara tersebut dapat tersedia di sekitar akar tanaman melalui aliran massa, difusi dan intersepsi akar. Sistem perakaran sangat penting dalam penyerapan unsur hara karena sistem perakaran yang baik akan memperpendek jarak yang ditempuh unsur hara untuk mendekati akar tanaman. Bagi tanaman yang sistem perakarannya kurang berkembang, peran akar dapat ditingkatkan dengan adanya interaksi simbiosis dengan Jamur mikoriza (Douds and Millner, 1999).

Selain itu juga menurut Lugtenberg and Kravchenko (1999) mikroba tanah akan berkumpul di dekat perakaran tanaman (*rhizosfer*) yang menghasilkan eksudat akar dan serpihan tudung akar sebagai sumber makanan mikroba tanah. Bila populasi mikroba di sekitar *rhizosfir* didominasi oleh mikroba yang menguntungkan tanaman, maka tanaman akan memperoleh manfaat yang besar dengan hadirnya mikroba tersebut. Tujuan tersebut dapat tercapai hanya apabila kita menginokulasikan mikroba yang bermanfaat sebagai inokulan di

sekitar perakaran tanaman. Mikroba tanah juga menghasilkan metabolit yang mempunyai efek sebagai zat pengatur tumbuh.

Mikroorganisme penyubur tanah yang sering digunakan dalam bidang pertanian antara lain adalah:

a) Bakteri Fiksasi Nitrogen

Hara N sebenarnya tersedia melimpah di udara kurang lebih 74%. Namun, N udara tidak dapat langsung diserap oleh tanaman. Tidak ada satupun tanaman yang dapat menyerap N dari udara. N harus difiksasi/ ditambat oleh mikroba tanah dan diubah bentuknya menjadi tersedia bagi tanaman. Mikroba penambat N ada yang bersimbiosis dengan tanaman dan ada pula yang hidup bebas di sekitar perakaran tanaman.

Berbagai jenis bakteri fiksasi N₂ secara hayati, antara lain terdiri atas rhizobia, sianobakter (ganggang hijau biru), bakteri fotoautotrofik pada air tergenang dan permukaan tanah, dan bakteri heterotrofik dalam tanah dan zona akar (Ladha and Reddy 1995, Boddey et al. 1995, Kyuma 2004). Bakteri fiksasi N₂ yang hidup bebas pada daerah perakaran dan jaringan tanaman padi, seperti *Pseudomonas* spp., *Enterobacteriaceae*, *Bacillus*, *Azotobacter*, *Azospirillum*, dan *Herbaspirillum* telah terbukti mampu melakukan fiksasi N₂ (James and Olivares 1997). Bakteri fiksasi N₂ pada rizosfer tanaman gramineae, seperti *Azotobacter paspali* dan *Beijerinckia* spp., termasuk salah satu dari kelompok bakteri aerobik yang mengkolonisasi permukaan akar (Baldani et al. 1997). Kelompok prokariotik fotosintetik, seperti sianobakter, mampu mempertahankan kesuburan ekosistem pada kondisi alami lahan pertanian melalui kemampuannya mengikat N₂ (Albrecht, 1998).

Bakteri fiksasi N₂ yang hidup bersimbiosis dengan tanaman kacang-kacangan (*rhizobia*) disebut juga sebagai bakteri bintil akar (*root nodulating bacteria*). Pemanfaatan *rhizobia* sebagai inokulan pupuk hayati dapat meningkatkan ketersediaan N bagi tanaman, yang dapat mendukung peningkatan produktivitas tanaman kacang-kacangan. Keefektivan inokulasi *rhizobia* dipengaruhi oleh kesesuaian inokulan *rhizobia* dengan jenis dan varietas tanaman dan jenis tanah yang diinokulasi, serta dipengaruhi oleh faktor kompetisi dengan *Rhizobia indigenous*.

b) Mikroba Pelarut Fosfat

Mikroba tanah lain yang berperan di dalam penyediaan unsur hara tanaman adalah mikroba pelarut fosfat (P) dan kalium (K). Tanah-tanah yang lama diberi pupuk superfosfat (TSP/SP 36) umumnya kandungan P-nya cukup tinggi (jenuh). Namun, hara P ini sedikit/tidak tersedia bagi tanaman, karena terikat pada mineral liat tanah yang sukar larut.

Berbagai spesies mikroba pelarut P, antara lain *Pseudomonas*, *Microccus*, *Bacillus*, *Flavobacterium*, *Penicillium*, *Sclerotium*, *Fusarium*, dan *Aspergillus*, berpotensi tinggi dalam melarutkan P terikat menjadi P tersedia dalam tanah (Alexander 1977, Illmer and Schinner 1992, Goenadi *et al.* 1993, Goenadi dan Saraswati 1993). Mekanisme pelarutan P dari bahan yang sukar larut terkait erat dengan aktivitas mikroba bersangkutan dalam menghasilkan enzim fosfatase dan fitase (Alexander 1977) dan asam-asam organik hasil metabolisme seperti asetat, propionat, glikolat, fumarat, oksalat, suksinat, dan tartrat (Banik and Dey 1982), sitrat, laktat, dan ketoglutarat (Illmer and Schinner 1992).

Proses utama pelarutan senyawa fosfat-sukar larut karena adanya produksi asam organik dan sebagian asam anorganik oleh mikroba yang dapat berinteraksi dengan senyawa P sukar larut dari kompleks Al-, Fe-, Mn-, dan Ca- (Basyaruddin 1982). Kemampuan cendawan melarutkan P lebih besar dibanding bakteri Cendawan dapat melarutkan P hingga dua kali pada pH 4,6-2,9, dan bakteri sekitar 1,5 kali pada pH 6,5-5,1 (Goenadi dan Saraswati 1993).

c) Mikoriza

Mikoriza berperan meningkatkan serapan P dan unsur mikro Zn, Cu, dan Fe. Hal ini terjadi melalui percepatan pertumbuhan akar dengan adanya simbiosis jamur tersebut. Mikoriza memiliki struktur hifa yang menjalar luas ke dalam tanah, melampaui jauh jarak yang dapat dicapai oleh rambut akar. Pada saat P berada di sekitar rambut akar, maka hifa membantu menyerap P di tempat-tempat yang tidak dapat lagi dijangkau rambut akar. Daerah akar bermikoriza tetap aktif dalam mengabsorpsi hara untuk jangka waktu yang lebih lama dibandingkan dengan akar yang tidak bermikoriza (Simanungkalit 2007).

Berbagai tanaman berbeda ketergantungannya terhadap mikoriza. Pada umumnya hubungan simbiosis antara tanaman dan cendawan mikoriza tidak bersifat spesifik, tetapi memiliki spektrum yang luas.

Tanaman dengan akar besar lebih tergantung pada mikoriza dari pada tanaman dengan sistem akar yang memiliki rambut akar banyak dan panjang (Baylis 1970). Cendawan mikoriza dapat bersimbiosis dengan tanaman hortikultura.

d) Bakteri Pereduksi Sulfat

Degradasi bahan organik di lingkungan anerob dapat terjadi melalui proses reduksi sulfat (Sherman et al. 1998). Reduksi sulfat hampir mencapai 100% dari total emisi CO₂ dari sediment mangrove (Kristensen et al. 1991). Bakteri pereduksi sulfat yang terdiri atas genera *Desulfovibrio*, *Desulfotomaculum*, *Desulfosarcina*, dan *Desulfococcus* mempunyai kemampuan memetabolisme senyawa sederhana, seperti laktat, asetat, propionat, butirrat, dan benzoat.

Perkembangan populasi bakteri pereduksi sulfat terhambat pada ketersediaan sulfat di ambang batas 2-10 µM per liter. Ketersediaan Fe dan P dalam sedimen mangrove bergantung pada aktivitas bakteri pereduksi sulfat (Sherman et al. 1998). Pada saat sulfat direduksi oleh bakteri pereduksi sulfat maka senyawa sulfur H₂S dan HS akan diproduksi dan bereaksi dengan Fe. Fe direduksi dari Fe(III) menjadi Fe(II), yang akan menghasilkan pirit (FeS₂) dan melepas P terlarut. Bakteri pereduksi sulfat merupakan perombak bahan organik utama dalam sedimen anaerob, dan berperan penting dalam mineralisasi sulfur organik dan produksi Fe dan P mudah larut.

e) Mikroorganisme Penghasil Zat Pemacu Tumbuh

Beberapa spesies bakteri rizosfer (di sekitar perakaran) yang mampu meningkatkan pertumbuhan tanaman sering disebut *Plant Growth Promoting Rhizobacteria* (PGPR) atau Rhizobakteria Pemacu Pertumbuhan Tanaman (RPPT). RPPT terdiri atas genus *Rhizobium*, *Azotobacter*, *Azospirillum*, *Bacillus*, *Arthrobacter*, *Bacterium*, *Mycobacterium*, dan *Pseudomonas* (Tien et al. 1979, Kloepper et al. 1980, Kloepper 1983, Schroth & Weinhold 1986, Biswas et al. 2000).

Kelompok mikroba yang mampu menghasilkan hormon tanaman, antara lain: *Pseudomonas* sp dan *Azotobacter* sp. Bakteri pemacu tumbuh secara langsung memproduksi fitohormon yang dapat menginduksi pertumbuhan. Metabolit yang dihasilkan selain berupa fitohormon, juga antibiotik, siderofor, sianida, dan sebagainya. Fitohormon atau hormon tumbuh yang diproduksi dapat berupa auksin, giberelin, sitokinin, etilen, dan asam absisat.

Bakteri pemacu tumbuh secara tidak langsung juga menghambat patogen melalui sintesis senyawa antibiotik, sebagai kontrol biologis. Beberapa jenis endofitik bersimbiosis mutualistik dengan tanaman inangnya dalam meningkatkan ketahanannya terhadap serangga hama melalui produksi toksin, di samping senyawa anti mikroba seperti fungi *Pestalotiopsis microspora*, dan *Taxus walkchiana* yang memproduksi taxol (zat antikanker) (Strobel et al. 1999). Miles et al. (1998) melaporkan bawa endofitik *Neotyphodium* sp. Menghasilkan N-formilonine dan a paxiline (senyawa anti serangga hama).

f) Mikroba Perombak Bahan Organik

Mikroorganisme perombak bahan organik atau bio-dekomposer adalah mikroorganisme pengurai serat, lignin, dan senyawa organik yang mengandung nitrogen dan karbon dari bahan organik (sisa-sisa organik dari jaringan tumbuhan atau hewan yang telah mati). Mikroba perombak bahan organik terdiri atas *Trichoderma reesei*, *T. harzianum*, *T. koningii*, *Phanerochaeta cryosporium*, *Cellulomonas*, *Pseudomonas*, *Thermospora*, *Aspergillus niger*, *A. terreus*, *Penicillium*, dan *Streptomyces*. Fungi perombak bahan organik umumnya mempunyai kemampuan yang lebih baik dibanding bakteri dalam mengurai sisa-sisa tanaman (hemiselulosa, selulosa dan lignin). Umumnya mikroba yang mampu mendegradasi selulosa juga mampu mendegradasi hemiselulosa (Alexander 1977). Menurut Eriksson et al. (1989), kelompok fungi menunjukkan aktivitas biodekomposisi paling nyata, yang dapat segera menjadikan bahan organik tanah terurai menjadi senyawa organik sederhana, yang berfungsi sebagai penukar ion dasar yang menyimpan dan melepaskan hara di sekitar tanaman.

Mikroba perombak bahan organik secara alami atau sengaja diinokulasikan untuk mempercepat pengomposan dan meningkatkan mutu kompos. Jumlah

dan jenis mikroorganisme turut menentukan keberhasilan proses dekomposisi atau pengomposan. Di dalam ekosistem, mikroorganisme perombak bahan organik memegang peranan penting karena sisa organik yang telah mati diurai menjadi unsur-unsur yang dikembalikan ke dalam tanah dalam bentuk hara mineral N, P, K, Ca, Mg, dan atau dalam bentuk gas yang dilepas ke atmosfer berupa CH₄ atau CO₂. Dengan demikian terjadi siklus hara yang berjalan secara alamiah, dan proses kehidupan di muka bumi dapat berlangsung secara berkelanjutan.

Beberapa enzim yang terlibat dalam perombakan bahan organik antara lain adalah β-glukosidase, lignin peroksidase (LiP), manganese peroksidase (MnP), dan lakase, selain kelompok enzim reduktase yang merupakan penggabungan dari LiP dan MnP, yaitu enzim versatile peroksidase. Enzim-enzim ini dihasilkan oleh *Pleurotus eryngii*, *P. ostreatus*, dan *Bjerkandera adusta* (Lankinen 2004). Selain mengurai bahan berkayu, sebagian besar fungi menghasilkan zat yang bersifat racun, sehingga dapat dipakai untuk menghambat pertumbuhan/perkembangan organisme pengganggu, seperti beberapa strain *T. harzianum* yang merupakan salah satu anggota Ascomycetes. Apabila kebutuhan karbon (C) tidak tercukupi, fungi tersebut akan menghasilkan racun yang dapat menggagalkan penetasan telur nematoda. *Meloidogyn javanica* (penyebab bengkok akar), sedangkan bila kebutuhan C tercukupi akan bersifat parasit pada telur atau larva nematoda tersebut. Fungi Zygomycetes (Mucorales) sebagian besar berperan sebagai pengurai amylum, protein, lemak, dan hanya sebagian kecil yang mampu mengurai selulosa dan khitin. Inokulan perombak bahan organik telah tersedia secara komersial dengan berbagai nama, seperti EM-4, Starbio, M-Dec, Stardek, dan Orgadek.

2) Peran Mikroba sebagai Agensia Hayati Pengendali Hama dan Penyakit Tanaman (*Biokontrol Patogen*)

Hama dan penyakit merupakan salah satu kendala serius dalam budidaya pertanian organik. Jenis-jenis tanaman yang terbiasa dilindungi oleh pestisida kimia, umumnya sangat rentan terhadap serangan hama dan penyakit ketika dibudidayakan dengan sistem organik. Alam sebenarnya telah menyediakan mekanisme perlindungan alami. Di alam terdapat mikroba yang dapat

mengendalikan organisme patogen tersebut. Organisme patogen akan merugikan tanaman ketika terjadi ketidakseimbangan populasi antara organisme patogen dengan mikroba pengendalinya, di mana jumlah organisme patogen lebih banyak daripada jumlah mikroba pengendalinya. Apabila kita dapat menyeimbangkan populasi kedua jenis organisme ini, maka hama dan penyakit tanaman dapat dihindari.

3. Rangkuman

- ✓ Mikroba merupakan organisme berukuran kecil (< 1 mm), tidak terlihat oleh mata telanjang.
- ✓ Jenis mikroba yang dapat dimanfaatkan dalam bidang pertanian tanaman hortikultura yaitu bakteri, jamur, virus dan nematoda.
- ✓ Bakteri dan fungi merupakan mikroorganisme yang paling penting dalam tanah yang berhubungan dengan dekomposisi dan siklus hara
- ✓ Jumlah mikroba yang ada di dalam tanah dipengaruhi oleh berbagai kondisi yang mempengaruhi pertumbuhannya, seperti kondisi faktor biotik yaitu interaksi dalam satu populasi mikroba dan Interaksi antar berbagai macam populasi mikroba), faktor abiotik antaralain: Suhu, kelembaban, kadar air, Kadar ion hidrogen (pH), dan radiasi.
- ✓ Populasi mikroba yang terbesar terdapat di horison permukaan. Mikroorganisme tanah lebih banyak ditemukan pada permukaan tanah karena bahan organik lebih tersedia.
- ✓ Peranan mikroba dalam pengaplikasiannya di bidang Tanaman hortikultura:
1). berperan dalam penyediaan dan penyerapan unsur hara seperti bakteri fiksasi nitrogen, mikroba pelarut fosfat, mikoriza, bakteri pereduksi sulfat, mikroorganisme penghasil zat pemacu tumbuh, mikroba perombak bahan organik, 2. Berperan sebagai agensia hayati pengendali hama dan penyakit tanaman (biokontrol patogen).

4. Soal Latihan

- 1) Berikan penjelasan beberapa alasan mengapa mikroba dijadikan subyek pada berbagai proses bioteknologi dibidang pertanian?

- 2) Apa yang anda ketahui tentang mikroba dan peranannya dalam bidang Pertanian hortikultura? Jelaskan!
- 3) Sebutkan jenis-jenis mikroba!
- 4) Sebutkan 3 contoh mikroba yang bermanfaat yang dapat digunakan untuk tanaman!
- 5) Sebutkan salah satu contoh mikroba yang bermanfaat dan berikan penjelasan singkat tentang manfaat mikroba tersebut yang dapat digunakan dalam bidang hortikultura!

5. Kunci Jawaban

- 1) Beberapa alasan mengapa mikroba dijadikan subyek pada berbagai proses bioteknologi dibidang pertanian antara lain:
 - a) Perkembangan mikroba yang sangat cepat
 - b) Mudah diperoleh di lingkungan kita
 - c) Sifat mikroorganisme yang mudah dimodifikasi melalui teknik rekayasa genetika sehingga dapat menghasilkan produk yang sesuai dengan yang diinginkan
 - d) Mikroba dapat menghasilkan berbagai produk yang dibutuhkan oleh manusia tanpa tergantung pada musim dan kondisi lingkungan
- 2) Peranan mikroba dalam bidang Pertanian hortikultura:

Sebagai komponen habitat alam mempunyai peran dan fungsi penting dalam mendukung terlaksananya pertanian ramah lingkungan melalui berbagai proses, seperti: dekomposisi bahan organik, mineralisasi senyawa organik, fiksasi biologis nitrogen, *recycling* hara tanaman, pelarutan fosfat, biokontrol patogen, nitrifikasi dan denitrifikasi. Fungi di dalam tanah mampu menyatukan butir tanah menjadi agregat, sedangkan bakteri berfungsi sebagai semen yang menyatukan agregat. Hasilnya adalah tanah yang lebih gembur berstruktur remah dan relatif lebih ringan.
- 3) jenis-jenis mikroba, antarlain:
 - a) Jamur

- b) Bakteri
 - c) Virus
 - d) Nematoda
- 4) 3 contoh mikroba yang bermanfaat yang dapat digunakan untuk tanaman:
- a) *Bacillus Thuringiensis (BT)*
 - b) *Trichoderma sp.*
 - c) *Beuveria Bassiana*
- 5) Salah satu contoh mikroba yang bermanfaat: *Trichoderma sp.*
- Manfaat mikroba tersebut yang dapat digunakan dalam bidang hortikultura yaitu: *Trichoderma sp.* mempunyai kemampuan untuk mengkolonisasi rhizosfer dengan cepat dan melindungi akar dari serangan jamur penyakit, mempercepat pertumbuhan tanaman dan meningkatkan hasil produksi tanaman.

6. Sumber Informasi dan Referensi

Adinurani P.G, Mulyati M dan Roy H. 2008. (*Abstrak*) Pengaruh Cendawan Mikoriza Arbuskula (CMA) pada Tebu di Tanah Mineral Masam di Tolangohula Gorontalo.

Alexander,M. 1977. Introduction to soil Microbiology.Academic Press. New York.

Alexander, M. 1977. Introduction to soil mycrobiology. 2nd Ed. John Wiley and Sons. New York. 467 p.

Anas, I. 1997.Bioteknologi Tanah. Laboratorium Biologi Tanah. Jurusan Tanah. Fakultas Pertanian. IPB.

Baker, K.F. and R.J.Cook. 1982. Biological Control of Plant Patogens.The American society. St. Paul, Minnesota.

Balai Penelitian Tanaman Buah Tropika. 2007. Cendawan Mikoriza Arbuskular Mampu Memacu Pertumbuhan Manggis, terhubung berkala : www.google.com

- Baylis, G.T.S. 1975. The magnoloid mycorrhiza and mycotrophy in root systems deived from it. p. 373-389. In: F.E.Sanders, B.Mosse, and P.B. Tinker (Eds.), Endomycorrhizas. Academic Press, London.
- Barnet, H.I and B.B, Hunter. 1987. Illustrated Genera of Imperfect Fungi. Me Millan Publishing Company. New York.Edisi IV, 70p
- Bloemberg, G.V. and B. JJ. Lugtenberg. 2001. Molecular basis of plant growth promotion *and biocontrol by rhizobacteria*. Leiden University, Institute of Molecular Plant Sciences, Netherlands
- Brundrett, M. 2004. Diversity and classification of mycorrhizal associations. Biol. Rev. 79:473–495.
- Budiyanto MAK, 2002. Peranan Mikroorganisme dalam Kehidupan Kita. Malang: Universitas Muhammdiyah Malang Press.
- Chet, I. 1986. Innovative approach to Plant Disease Control. The Hebrew University of Jerusalem, Faculty of agriculture. Rehovot, Israel. John wiley and Sons. New York. 11-210
- Dwijoseputro, 1990. Dasar-dasar Mikrobiologi. Jakarta: Djambatan.
- Douds D.D and Patricia D Millner. 1999. Biodiversity Of ArbuscularMycorrhizal Fungi In Agroecosystems. Agriculture, Ecosystems and Environment. Vol 74. Hal 77-93
- Eriksson, KEL, R.A. Blanchette, and P. Ander. 1989. Microbial and enzymatic *degradation of wood and wood components*. Springer-Verlag Heildeberg. New York.
- Fleibach, A.R. Martens and H.H. Reber, 1994. *Soil microbial biomass and microbial activity in soil treated with heavy metal contaminated sewage sludge*. Soil Biol. Biochem. 26 (9) : 1201 – 1205.
- James, E. and F.L. Olivares. 1997. Infection and colonization of sugarcane and other graminaceous plants by endophytic diazotrophicus. Plant Science. 17:77-119.

- JGI Microbes. 2004. *Pseudomonas fluorescens*. Available at: http://genome.jgi-psf.org/draft_microbes/psefl/psefl.home.html, diakses tanggal: 06 Agustus 2019.
- Karlen D.L., E.G. Hurley, and A.P. Mallarino. 2006. Crop rotation on soil quality at three northern corn/soybean belt location. *Agron. J.* 98:484-495.
- Kristensen, E., M. Holmer, and N. Bussarawit. 1991. Benthic metabolism and sulfate reduction in a south-east Asian mangrove swamp. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 73:93-103.
- Ladha, J.K. and P.M. Reddy. 1995. Extension of nitrogen fixation to rice: necessity and possibilities. *GeoJournal.* 35:363-372.
- Lankinen, P. 2004. Ligninolytic enzymes of the basidiomycetous fungi *Agaricus bisporus* and *Phlebia radiata* on lignocellulose-containing media. Academic Dissertation in Microbiology. <http://www.u.arizona.edu/~leam/lankinen.pdf>. [10 Desember 2005].
- Lugtenberg B.J.J and Lev V Kravchenko. 1999. Tomato Seed And Root Exudate Sugars: Composition, Utilization By *Pseudomonas* Biocontrol Strains And Role In Rhizosphere Colonization. *Environmental Microbiology.* Vol 1 (5). Hal 439-446.
- Madigan, M.T; J.M. Martinko and J. Parker., 2000. *Biology of Microorganisms*. Eighth edition. Prentice Hall. International. Inc.
- Mankau R. 1980. Biocontrol of nematodes. dalam *Annual Review of Phytopathology.* Vol. 18. Palo Alto California. Hal 415.
- Miles, C.O., M.E. diMena, S.W.L. Jacobs, I. Garthwaite, G.A. Lane, R.A. Prestidge, S.L. Marshal, H.H. Wilkinson, C.L. Schardl, O.J.P. Ball, and C.M. Latch. 1998. Endophytic fungi in indigenous Australian grasses associated *with toxicity to livestock*. *Appl. Environ. Microbiol.* 64:601-606.
- Mosse, B. 1981. *Vesicular-Arbuskular Mycorrhiza for Tropical Agriculture*. Hawaii Institute of Tropical Agriculture and Human Resources. University of Hawaii. 82 p.

- Mulyadi. 2009. Nematologi Pertanian. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.
- Mustika, I., R. S. Djiwanti dan R. Harni. 2000. Pengaruh agensia hayati, bahan organik dan pestisida nabati terhadap nematoda tanaman nilam. Laporan Penyelesaian DIP Bagian Proyek Penelitian Tanaman Rempah dan Obat. Bogor. 85-91.
- Prihatini, T, A. Kentjanasari dan Subowo 1996. Pemanfaatan biofertilizer untuk peningkatan produktivitas lahan pertanian
- Semangun, H. 1996. Pengantar Penyakit Tumbuhan. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Sharma, A. K.2002. Organic farming. Central Arid Zone Research Institute Jodhpur. Agrobios. India.
- Sherman, R.E., T.J. Fahey, and R.W. Howarth. 1998. Soil-plant interactions in a neotropical mangrove forest:iron, phosphorus, and sulfur dynamics. *Oecologia* 115:553-563.
- Sigee, D.C. 2004. *Freshwater Microbiology*. West Sussex: John Willey and Sons
- Sutedjo M,M. 1996. Mikro Biologi Tanah. Rineka Cipta. Jakarta.
- Tien, T.M., M.H. Gaskin, and D.H. Hubell. 1979. Plant growth substances produced by *Azospirillum brasilense* and their effect on the growth of pearl millet (*Pennisetum americanum* L.). *Appl. Environ. Microbiol.* 37:1016-1024.
- Wahyuni. 2005. Dasar-Dasar Virologi Tumbuhan. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.
- Watanabe, I. 1979. Biological nitrogen fixation in rice soils. p. 465-478. In: *Soils and Rice*. IRRI. Los Banos, Philippines.

C. Penilaian

1. **Sikap** : keikutsertaan dan partisipasi aktif dalam diskusi.
2. **Pengetahuan** : kemampuan menjawab pertanyaan dengan benar soal latihan.
3. **Keterampilan** : kemampuan mengaplikasikan peran mikrobia dalam bidang pertanian tanaman hortikultura

Kegiatan Pembelajaran 5 :**5. Bioteknologi dalam Bidang Perlindungan Tanaman Hortikultura****A. Deskripsi**

Bioteknologi merupakan penerapan teknik pendayagunaan organisme hidup atau bagian dari organisme untuk membuat modifikasi, meningkatkan atau memperbaiki sifat makhluk hidup serta mengembangkan mikroorganisme untuk penggunaan khusus. Aplikasi penerapan Bioteknologi telah banyak membantu manusia terutama bioteknologi di bidang perlindungan tanaman.

Perlindungan tanaman (*crop protection*) didefinisikan sebagai “segala upaya untuk mencegah kerugian pada budidaya tanaman yang diakibatkan oleh organisme pengganggu tumbuhan”, sedangkan organisme pengganggu tumbuhan didefinisikan sebagai “semua organisme yang dapat merusak, mengganggu kehidupan, atau menyebabkan kematian tumbuhan”. Bioteknologi dalam perlindungan tanaman telah banyak dikembangkan oleh masyarakat. Tujuan diciptakannya produk bioteknologi dalam bidang perlindungan tanaman salah satunya adalah untuk mengurangi pemakaian produk pengendalian dengan menggunakan zat kimia, dengan cara memanfaatkan mikroorganisme penting yang berasal dari alam. Salah satu contoh dari penerapan bioteknologi dibidang perlindungan tanaman yaitu: menciptakan tanaman transgenik untuk menekan serangan hama, penyakit dan gulma serta masih banyak contoh lainnya.

B. Kegiatan Pembelajaran**1. Tujuan Pembelajaran**

Tujuan dapat memahami arti penting dan penerapan bioteknologi dalam bidang perlindungan tanaman hortikultura.

2. Uraian Materi

Bioteknologi merupakan penerapan teknik pendayagunaan organisme hidup atau bagian dari organisme untuk membuat modifikasi, meningkatkan atau memperbaiki sifat makhluk hidup serta mengembangkan mikroorganisme untuk penggunaannya, terutama penggunaan bioteknologi di bidang perlindungan tanaman.

Bioteknologi dalam bidang perlindungan Tanaman yaitu bioteknologi yang diterapkan dengan cara memodifikasi atau merekayasa gen pada tanaman yang bersifat toksik atau merugikan terhadap OPT sehingga menciptakan tanaman dengan gen yang tahan terhadap OPT. Bioteknologi dalam perlindungan tanaman diaplikasikan dalam deteksi dan identifikasi OPT serta dimanfaatkan untuk menciptakan produk-produk agen biokontrol terhadap serangan OPT.

Jenis pemanfaatan bioteknologi dalam bidang perlindungan tanaman antara lain:

a. Peningkatan kinerja agen biokontrol

Biokontrol adalah penghambatan pertumbuhan, infeksi atau reproduksi satu organisme menggunakan organisme lain (Baker & Cook 1996). Biokontrol merupakan salah satu alternatif metode pengendalian penyakit tanaman yang ramah lingkungan. Organisme yang digunakan dalam biokontrol disebut agen hayati.

Agensia hayati yang terdapat di alam banyak jenisnya antarlain: bakteri, aktinomycetes, jamur, virus, tanaman tingkat tinggi dan predator mikrofauna seperti protozoa, nematoda, collembola dan tungau. (Baker and Cook, 1974). Di bawah ini akan dibahas beberapa jenis bioteknologi bidang perlindungan tanaman yang dimanfaatkan untuk menciptakan produk-produk agen biokontrol terhadap serangan Organisme Pengganggu Tanaman (OPT), diantaranya:

1) Agen Biokontrol yang menggunakan Agensia hayati berupa Jamur

Jamur merupakan salah satu mikroorganisme patogen yang dapat digunakan sebagai agen biokontrol karena mempunyai kelebihan diantara organisme patogen lain seperti mempunyai: kapasitas reproduksi tinggi, siklus hidup yang relatif singkat, daya kerja yang relatif spesifik (hanya menyerang serangga tertentu tergantung spesies, cepat menghasilkan spora istirahat yang dapat bertahan lama di alam tanpa adanya inang dan kondisi yang tidak menguntungkan (Rohani, 1991).

a) Jamur Anatagonisme

Mikroorganisme yang bersifat antagonis yaitu satu mikroorganisme menekan mikroorganisme yang lain sehingga kerusakan tanaman dapat dikurangi dan ada juga yang bersifat adaptif mikroorganisme satu dengan yang lainnya tidak saling mempengaruhi. Mikroorganisme yang bersifat antagonis dapat langsung menghambat patogen dengan sekresi antibiotik, berkompetisi dengan patogen-patogen terhadap makanan atau tempat, menginduksi proses ketahanan dalam inang serta langsung berinteraksi dengan patogen (Wilson, 1991).

Trichoderma sp. merupakan satu dari sekian banyak agen pengendali hayati yang telah dikembangkan dan diaplikasikan secara luas. Keberhasilan penggunaan agen hayati ini telah banyak dilaporkan di berbagai penelitian diantaranya mengendalikan patogen penyebab rebah kecambah *Rhizoctania solani*, busuk batang *Fusarium* sp., akar gada *Plasmodiophora brassicae*, dan lain-lain. Jamur ini selain bersifat hiperparasitik terhadap beberapa patogen, diketahui pula dapat menghasilkan antibiotik yang dapat mematikan dan menghambat pertumbuhan jamur lain (Baker & Snyder, 1990 dalam Anggraeni & Suharti, 1994).

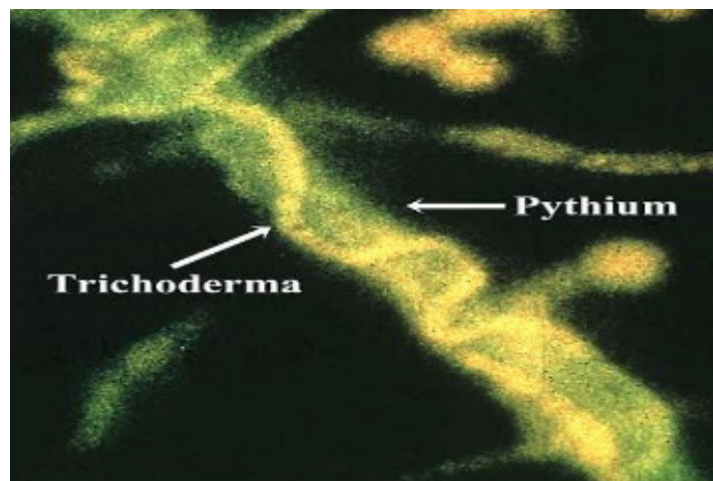
Mekanisme Pengendalian

Mekanisme penekanan patogen oleh *Trichoderma* sp. menurut Patrich dan Tousson (1970) dalam Widyastuti, dkk (1998) terjadi melalui proses kompetisi, parasitisme, antibiosis, atau mekanisme lain yang merugikan bagi patogen. Selain itu, jamur ini mempunyai sifat-sifat mudah didapat, penyebarannya luas, toleran terhadap zat penghambat pertumbuhan, tumbuh cepat, kompetitif dan menghasilkan spora yang berlimpah, sehingga mempermudah penyediaan jamur sebagai bahan pengendali hayati (Alfian, 1990 dalam Andayaningsih, 2002).

Dewasa ini di banyak Negara diketahui bahwa *Trichoderma* spp. dan *Gliocladium* spp dapat dipakai untuk mengendalikan macam-macam penyakit jamur tular tanah (Semangun, 2001). *Trichoderma* sp. merupakan jamur yang paling banyak terdapat di dalam tanah dan bersifat antagonistik terhadap

jamur lain (Chet, 1986). Selain daya adaptasinya luas, Webster dan Dennis (1971) dalam Widyastuti, dkk., (1998) melaporkan bahwa *Trichoderma* sp. mempunyai daya antagonis tinggi dan dapat mengeluarkan racun, sehingga dapat menghambat bahkan mematikan jamur lain.

Cook dan Baker (1974) melaporkan bahwa aktivitas jamur-jamur antagonis hanya terpacu pada kondisi asam, antara lain aktivitas parasitisme dan pembentukan antibiotik gliotoksin dan viridin pada *T. viridae*. Sifat-sifat tersebut memungkinkan jamur ini dapat berkompetisi dengan berbagai patogen tular tanah. Gambar di bawah ini memperlihatkan terjadinya mikoparasitisme *Trichoderma* pada *Pythium*. *Pythium* merupakan patogen tular tanah yang dapat menyebabkan penyakit rebah kecambah (*Damping off*) pada kacang-kacangan (Harman, 1991).



Gambar 9. Mycoparasitisi *Trichoderma* terhadap Patogen Penyebab Rebah Kecambah *Pythium* pada Permukaan Kacang. *Trichoderma* diberi Pewarnaan *Orange Fluorescent*, Sedangkan *Pythium* diberi Pewarnaan dengan *Green*)

(Sumber: Hubbard *et al.*, 1983).

Mekanisme antagonis untuk mengendalikan jamur patogen dapat dikelompokkan menjadi 3 fenomena dasar, yaitu;

- Terjadinya kompetisi bahan makanan antara jamur patogen dengan *Trichoderma* di dalam tanah. Adanya pertumbuhan jamur yang berjalan begitu cepat dari *Trichoderma* akan mendesak pertumbuhan jamur.

- Mikoparasitisme, jamur *Trichoderma* merupakan jamur yang bersifat mikoparasit, artinya jamur ini dapat menghambat pertumbuhan jamur dengan parasitisme. Mekanisme yang terjadi *Trichoderma* dapat melilit hifa jamur patogen, selain itu jamur ini juga mengeluarkan enzim yang mampu merombak dinding sel jamur patogen, sehingga jamur patogen mati. Beberapa jenis enzim pelisis yang telah diketahui dihasilkan adalah enzim kitinase dan β -1,3 glucanase.
- Antibiosis, *Trichoderma* juga menghasilkan antibiotik yang termasuk kelompok furanon yang dapat menghambat pertumbuhan spora dan hifa jamur patogen, diidentifikasi dengan rumus kimia 3-(2-hydroxypropyl)-4-(2-hexadienyl)-2-(5H)-furanon.

Ketiga mekanisme ini berjalan simultan (Suwahyono dan Wahyudi, 2004).

b) Jamur Entomopatogen

Jamur patogen serangga atau dikenal juga sebagai entomopatogen merupakan agensia pengendali hayati yang akhir-akhir ini mulai banyak dikembangkan dalam mengendalikan serangga hama (Untung dan Mangundiharjo, 1994). Beberapa contoh jamur entomopatogen yang telah dikembangkan sebagai agensia pengendali hayati adalah *Verticillium lecaniizim.*, *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuill., *Metharizium anisopliae.*, *Paecilomyces fumosoroseus* Bainer.

Mekanisme Pengendalian

Jamur entomopatogen umumnya memproduksi spora yang tahan terhadap kondisi lingkungan ekstrim dan merupakan spora yang infeksi. Contoh dalam mekanisme pengendalian terhadap serangga yang dibahas disini adalah *Beauveria bassiana*.

B. bassiana menghasilkan spora yang dapat menembus langsung melalui kulit tubuh serangga. Konidia akan menempel pada kutikula inang dan akan berkecambah membentuk struktur penetrasi yaitu tabung kecambah yang menghasilkan hifa penetrasi (Inglis et al., 2001). *B. bassiana* menghasilkan enzim protease, kitinase, dan lipase yang menyerang dan melarutkan komponen penyusun kutikula serangga. Setelah itu hifa akan tumbuh menembus kutikula dan bagian epidermal menuju ke rongga tubuh serangga (Boucias & Pendland,

1998). Pada rongga tubuh, hifa akan membentuk tubuh hifa vegetatif, dan pertumbuhannya akan meluas dengan cara replikasi, sehingga memenuhi seluruh rongga tubuh serangga. Nutrisi yang berada dalam hemolimfa dan di tubuh serangga akan habis karena pertumbuhan hifa vegetatif, sehingga menyebabkan serangga mati kelaparan (Boucias & Pendland, 1998).

Menurut Mahr (2005), jamur *B. bassiana* memproduksi toksin *beauvericin* yang berfungsi melemahkan sistem kekebalan tubuh serangga. Selain itu, menghasilkan toksin bassianolit, isorolit, dan asam oksalat yang dapat meningkatkan pH darah, pengumpulan darah, terhentinya peredaran darah serangga, kerusakan rongga tubuh, sistem syaraf, serta sistem pencernaan yang mengakibatkan kematian serangga (Roberts & Yendol, 1971). Setelah serangga mati spora memproduksi antimikroba 'oosporein' yang dapat mencegah pertumbuhan bakteri dan pembusukan pada bangkai serangga. Pada akhirnya seluruh tubuh serangga dipenuhi oleh massa jamur. Jika kondisi menguntungkan miselia akan tumbuh keluar melalui bagian tubuh serangga yang lunak sehingga seluruh tubuh serangga diselimuti oleh miselia jamur yang berwarna putih (Mahr, 2005).

Jika kondisi lingkungan tidak mendukung, miselia jamur tidak akan keluar dari tubuh serangga yang telah mati, tetapi membentuk *thick-walled* yang merupakan struktur tahan di dalam tubuh serangga. Konidia diproduksi oleh jamur yang telah tumbuh di luar bangkai serangga, dan akan disebarkan melalui perantara lingkungan (angin, air) atau oleh serangga lain. Ketika konidia menempel pada tubuh serangga lain, maka proses infeksi akan berlanjut kembali (Boucias & Pendland, 1998).

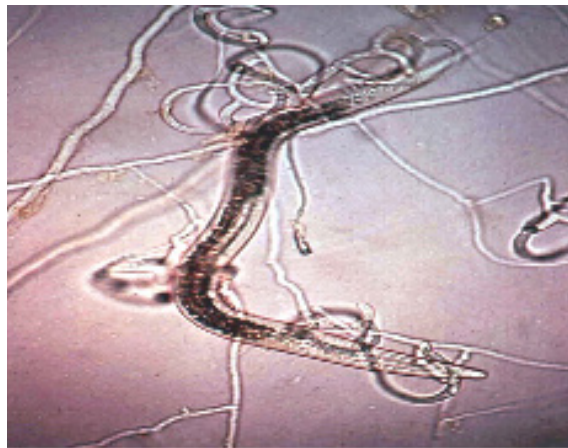
c) Jamur Nematopatogen

Jamur nematopatogen merupakan salah satu agen hayati sebagai alternatif pengendalian nematoda karena jamur tersebut dapat mematikan nematoda dengan cara membentuk hifa perangkap yang dapat menangkap atau menjerat dan menginfeksi nematoda dengan hifanya (Barron, 1977). Beberapa genus dari golongan jamur telah diketahui merupakan musuh alami nematoda parasit tanaman antara lain, *Arthrobotrys* spp. (Barnet dan Hunter. 1972; Jalata. 1986,

dalam Nazarudin, 1997). Jamur *Arthrobotrys* spp. merupakan salah satu agen hayati yang berpotensi baik dalam mengendalikan serangan *Meloidogyne* sp. dan *Pratylenchus brachyurus* pada tanaman Nilam. Jamur ini mampu mengurangi populasi *Meloidogyne* sp. dan *Pratylenchus brachyurus* sebesar 81% -95%. (Mustika dkk., 2000). Jamur penjerat nematoda *Arthrobotrys* spp. adalah agensia hayati yang sangat potensial untuk mengendalikan nematoda parasit tanaman (Harni *et al.*, 2000). *Arthrobotrys* spp. merupakan kelompok jamur nematopatogen yang mempunyai struktur khusus berupa cincin atau jaring penjerat nematoda, penjerat ini berupa miselium yang dapat memerangkap dan membunuh nematoda (Barron, 1997 dalam Koon. Hui Wang *et al.*, 2003).

Mekanisme Pengendalian

Salah satu contoh Jamur Nematopatogen *Arthrobotrys* spp. Jamur *Arthrobotrys* spp. menangkap nematoda dengan jerat yang lengket yang dibentuk hifa vegetatif. Dimulai dengan pertumbuhan cabang yang kokoh dari hifa vegetatif, lalu tumbuh berbalik dan melingkar dan menempel dengan hifa induk atau membentuk jerat lainnya. Jerat terdiri dari jerat tunggal (sederhana) dan 3 jerat (kompleks) dan semua jerat mempunyai materi yang lengket. Adapun jerat yang tidak lengket membentuk cincin yang dapat mengerut (Gronvold *et al.*, 1989).



Gambar 10. *Arthrobotrys* spp. Menjerat Nematoda

(Sumber: Anonim, 2005)

Suhu yang baik untuk perkembangan jamur ini adalah 17 –29° C dengan suhu optimum 25° C. Derajat keasaman (pH) yang ideal antara 5,0 –6,0 sedangkan kelembaban idealnya 90 %. Pada kadar oksigen murni 100 % atau oksigen normal 21 % (oksigen udara), jamur ini dapat membentuk perangkap secara optimal (Barron, 1977; Gronvold *et al.*, 1989). Pada suhu 15°C, penyebaran dan pertumbuhan struktur cincin jamur akan terhambat (Eefje & Belder, 1994).

2) Agen Biokontrol yang menggunakan Agensia hayati berupa Bakteri

a) Bakteri Antagonis

Bakteri antagonis banyak ditemukan di sekitar sistem perakaran akar tanaman atau dikenal dengan istilah bakteri rhizosfir (Tenuta *et al.*, 2003). Bakteri rhizosfir dapat ditemukan dalam jumlah yang banyak pada daerah permukaan perakaran, dimana nutrisi disediakan oleh eksudat dan lysates tanaman (Lynch 1991, Rovira 1974 dalam Van Loon 1998). Beberapa strain bakteri rizosfir adalah bakteri PGPR, karena pengaplikasiannya dapat menstimulasi pertumbuhan dan meningkatkan daya tahan tanaman pada kondisi yang kurang menguntungkan. Bakteri ini mampu melindungi tanaman dari infeksi patogen.

Mekanisme Pengendalian

Mekanisme yang terlibat dalam aktifitas biokontrol ini adalah kompetisi terhadap nutrisi, produksi anti-fungal metabolites (AFMs) dan induksi ketahanan sistemik (ISR). Pada umumnya strain biocontrol *Pseudomonas* menghasilkan AFMs dari kelas phenazines, pyrrolnitrin, 2,4-diacetylphloroglucinol (DAPG) dan pyoluteorin. Namun baru-baru ini ditemukan AFMs yang termasuk dalam kelas *cyclic lipopeptides* seperti tensin dan viscosinamide yang dapat mencegah infeksi *Pythium ultimum* terhadap *sugarbeet*. *Pseudomonas fluorescens* merupakan salah satu grup dari bakteri saprofit non patogenik yang berkoloni dalam tanah, air dan lingkungan permukaan tanaman. Sejumlah strain dari *P. fluorescens* dapat menekan penyakit pada tanaman dengan melindungi benih dan akar dari infeksi jamur dengan cara menghasilkan sejumlah produk hasil metabolit sekunder seperti antibiotik, siderophore dan hidrogen sianida (JGI

microbes, 2004). Bakteri tersebut dapat bersifat antagonis terhadap patogen-patogen tular tanah melalui beberapa mekanisme.

Penghasil siderophore dapat menghambat pertumbuhan patogen dengan cara membatasi ketersediaan unsur besi dalam tanah, antibiotik dapat menekan jumlah mikroorganisme yang berkompetisi, glucanase dan chitinase dapat mendegradasi sel-sel mikrobial. Sebagai contoh, penekanan layu fusarium pada carnation dan lobak oleh *Fusarium oxysporum* f.sp. dianthi (Fod) and *F. oxysporum* f.sp. raphani (For) melalui terjadi kompetisi terhadap unsur besi oleh *Pseudomonas putida* strain.

Induksi Ketahanan Sistemik oleh Rhizobakteria (ISR) Untuk melindungi dirinya dari penyakit, tanaman membentuk suatu mekanisme pertahanan dimana signal molekul asam salisilat (SA), asam jasmonik (JA) dan ethylene (ET) sangat berperan dalam pembentukannya.

b) Bakteri Entomopatogen

Bakteri merupakan entomopatogen yang mulai banyak dipergunakan oleh petani dalam mengendalikan hama-hama tertentu. Insektisida yang dijual dipasaran juga banyak yang mengandung bahan aktif bakteri salah satunya yang paling banyak dipergunakan adalah insektisida yang berbahan aktif bakteri *Bacillus thuringiensis* Var. aizawai. *B. thuringiensis* digolongkan dalam famili Bacillaceae, ordo Eubacteriales, kelas Schizomycetes (Sandoz, 1974 dalam Prabowo, 1990).

Mekanisme Pengendalian

Menurut Burgenjon & Martouret (1971) dalam Sastrosiswojo (1997), toksisitas *B. thuringiensis* terhadap serangga tergantung pada galur bakteri dan spesies serangga yang terinfeksi. Faktor yang ada pada bakteri yang mempengaruhi toksisitas adalah jenis kristal proteinnya, sedangkan pada serangga adalah perbedaan keadaan dalam saluran pencernaan larva, seperti pH dalam saluran pencernaan bagian tengah yang dapat mempengaruhi kelarutan kristal protein. Faktor lainnya adalah kemampuan enzim protease yang ada pada saluran makanan serangga untuk mencerna kristal protein menjadi molekul toksik dan adanya receptor khusus dalam saluran pencernaan serangga yang

mengikat toksin (Burgenjon & Morturet, 1991 dalam Sastrosiswojo, 1997). Kristal protein saluran yang termakan oleh larva serangga akan dipecah oleh enzim protease di dalam saluran pencernaan bagian tengah menjadi molekul yang toksik (Hofle & Whiteley, 1989 dalam Prabowo, 1990). Toksin tersebut akan mempengaruhi permeabilitas sel, mikrovili pada sel-sel epitelium menyebabkan paralisis saluran makanan dan berubahnya keseimbangan pH hemolimfa, akhirnya menyebabkan kematian. Heimpel (1967) dalam Prabowo (1990) berpendapat bahwa *B. thuringiensis* toksik terhadap 137 spesies serangga yang meliputi ordo Diptera, Lepidoptera, Hymenoptera, Orthoptera dan Coleoptera.

Gejala serangan *B. thuringiensis* pada larva Lepidoptera ditandai dengan kehilangan selera makan dan berkurangnya mobilitas larva dengan cepat beberapa jam setelah aplikasi. Larva kurang tanggap terhadap sentuhan. Setelah larva mati, larva makin kelihatan mengkerut dan perubahan warnapun menjadi jelas terlihat. Tubuh serangga yang mati menjadi lunak dan mengandung cairan kemudian akhirnya membusuk (Sandoz, 1974 dalam Prabowo, 1990). Keadaan sakit pada larva Lepidoptera karena infeksi *B. thuringiensis* disebabkan oleh infeksi endospora dan infeksi racun δ -endotoksin. Pupa dan imago mungkin terbentuk meskipun terinfeksi *B. thuringiensis*, tetapi umumnya pupa atau imago itu berukuran kecil, cacat atau mandul (Sandoz, 1974 dalam Prabowo, 1990).

3) Agen Biokontrol yang menggunakan Agensia hayati berupa Virus

Virus Entomopatogen

Virus sebagai biokontrol sudah banyak digunakan oleh petani. Pengendalian dengan menggunakan virus, memiliki beberapa keunggulan yakni: 1) Tidak terdapat efek samping terhadap musuh alami hama sasaran, manusia dan lingkungan. 2) Serangga hama yang resisten terhadap suatu insektisida tetap peka terhadap virus. 3) Virus dapat persisten di lapangan, sehingga dapat menyebabkan infeksi pada generasi hama sasaran berikutnya. 4) Tidak meninggalkan residu beracun di alam (Mawikere, Lolong, dan Tumewan, 1990).

Contoh-contoh virus yang telah digunakan sebagai agensia biokontrol diantaranya yaitu *Phthorimae operculella Granulosis Virus* (PoGV), *Helicoverpa armigera Nuclear Polyhedrosis Virus* (HaNVP), *Spodoptera exigua Nuclear Polyhedrosis Virus* (SeNVP) dan *Spodoptera litura Nuclear Polyhedrosis Virus* (SINVP).

Mekanisme Pengendalian

Proses infeksi terjadi karena larva menelan polihedra atau virion. Pada kondisi alkalis (pH lebih dari 9) di dalam usus halus, selubung protein akan larut dan virion akan dibebaskan dan akan menginfeksi sel-sel epitel usus tengah. Pada inti sel yang terinfeksi virus akan mengadakan replikasi sehingga virion-virion baru akan terbentuk dan sebagian akan meninggalkan sel tersebut dan menginfeksi sel-sel hemocoel dan jaringan lain seperti lemak tubuh, sel epidermis, sel hemolimpa, trahea, serta kelenjar sutra. Pada jaringan-jaringan tersebut virion-virion akan mengambil tempat dan proses ini terus berlanjut sehingga terjadi cell-lysis.

Larva biasanya akan mati setelah banyak jaringan terinfeksi. Larva yang terinfeksi NPV akan menunjukkan gejala yang khas, yaitu daya makan berkurang, gerakan menjadi lamban, warna pucat kekuningan, tubuh membengkak dan lemah. Sebelum mati integumen menjadi sangat rapuh, tubuhnya mengeluarkan cairan hemolims berisi jaringan yang rusak dan terdapat banyak sekali polihedra.

Kematian larva terjadi setelah sebagian besar jaringan tubuhnya terinfeksi. Lama kematian sejak virus menginfeksi bervariasi antara empat hari sampai dengan tiga minggu. Hal ini tergantung dari strain virus, jenis inang, stadia inang, jumlah partikel virus dan temperatur lingkungan. Ulat yang mati kadang menggantung pada daun.

4) Agen Biokontrol yang menggunakan Agensia hayati berupa Nematoda

Nematoda Entomopatogen

Patogen serangga dari golongan nematoda ada dua genus yang telah dikenal yaitu *Steinernematan Heterorhabditis*. Kedua genus tersebut memiliki beberapa keunggulan sebagai agensia pengendalian biologi serangga

hama dibandingkan dengan musuh alami lain, yaitu daya bunuhnya sangat cepat, kisaran inangnya luas, aktif mencari inang sehingga efektif untuk mengendalikan serangga dalam jaringan, tidak menimbulkan resistensi, dan mudah diperbanyak. Nematoda *Steinernema* spp. memiliki kisaran inang yang cukup luas, tetapi aman bagi vertebrata dan jasad bukan sasaran lainnya (Shapiro *et al.*, 1996). Pada kondisi laboratorium yang optimal. *Steinernema* spp. dapat menginfeksi 200 spesies serangga dari ordo Coleoptera, Lepidoptera, Hymenoptera, Diptera, Orthoptera dan Isoptera (Chaerani, 1996).

Mekanisme Patogenesis

Mekanisme patogenesis nematoda entomopatogen terjadi melalui simbiosis dengan bakteri patogen *Xenorhabdus* untuk *Steinernema* dan *Photorhabdus* untuk *Heterorhabditis*. Infeksi dilakukan oleh stadium larva instar III atau juvenil infektif (J1) terjadi melalui mulut, anus, spirakel atau penetrasi langsung membran intersegmental integumen yang lunak. Setelah mencapai haemocoel serangga, bakteri simbiosis yang dibawa akan dilepaskan ke dalam haemolim untuk berkembangbiak dan memproduksi toksin yang mematikan. Dua faktor ini yang menyebabkan nematoda entomopatogen mempunyai daya bunuh yang sangat cepat. Serangga yang terinfeksi dapat mati dalam waktu 24-28 jam setelah infeksi. Faktor penentu patogenesis nematoda entomopatogen terletak pada bakteri mutualistiknya yaitu dengan diproduksinya toksin intraseluler dan ekstraseluler yang dihasilkan bakteri dalam waktu 24-48 jam (Kaya dan Gaugler, 1993).

Patogenesis *Xenorhabdus* spp. bergantung pada kemampuan masuknya nematoda ke hemocoel serangga inang, juga kemampuan dari bakteri itu sendiri untuk memperbanyak diri di haemolympha serta kemampuannya untuk melawan mekanisme pertahanan serangga inang (Akrust dan Boemare, 1990).

b. Deteksi dan Identifikasi Patogen

Sebagai perangkat deteksi penyakit virus

Salah satu teknik bioteknologi yaitu pembuatan antibodi monoklonal yang dapat digunakan sebagai perangkat deteksi yang sangat tepat dan cepat terhadap serangga penular atau transmitter penyakit virus seperti

Nephotetix virescens yang menularkan penyakit tungro pada padi. Melalui pemanfaatan teknologi antibodi monoklonal, random amplified polymorphin DNA (RAPD), polymerase chain reaction (PCR) dan metode bioteknologi lain maka pengelompokan organisme berdasarkan sifat-sifatnya dapat dilakukan lebih teliti sehingga membantu penerapan PHT di lapangan.

c. Pembuatan Tanaman Resisten OPT

Hasil bioteknologi yang sudah dikembangkan dan digunakan dalam pembuatan tanaman resisten OPT, antara lain:

1) Tanaman Transgenik Tahan Hama

Pada umumnya tanaman telah disisipi dengan gen yang berasal dari banyak strain *Bacillus thuringiensis* yang ditujukan untuk mengendalikan jenis-jenis hama tertentu. Di pasar dunia telah dikenal kapas transgenik atau kapas Bt., jagung Bt., kentang Bt., kedelai Bt., tomat Bt, kanola Bt., dan lain-lainnya. Sampai saat ini kapas Bt. sudah diijinkan di Indonesia tetapi masih ditanam secara terbatas di Propinsi Sulawesi Selatan.

2) Tanaman Transgenik Tahan Herbisida

Beberapa jenis tanaman seperti kapas, jagung dan kedelai telah disisipi gen tertentu sehingga tanaman tersebut tidak mati apabila terpapar herbisida. Beberapa jenis tanaman telah disisipi dua gen sehingga tanaman tersebut tahan terhadap hama tertentu dan tahan terhadap herbisida.

3) Tanaman tahan terhadap penyakit

a) Tanaman tahan terhadap nematoda

Salah satu contoh pemanfaatan penerapan bioteknologi di bidang nematoda yaitu kajian tentang biologi molekuler ketahanan tanaman tomat terhadap *Meloidogyne incognita* yang dilakukan oleh Williamson *et al.* kajian tersebut meliputi identifikasi gen tahan (Mi) yang terekpresi dalam waktu relatif cepat dan mengkloning gen Mi tersebut.

Gen Mi diintroduksi ke dalam tanaman tomat (*Lycopersicon esculantum*) dari tanaman tomat liar (*L. peruvianum*). Gen Mi diidentifikasi sebagai gen tahan yang bersifat dominan atau semi dominan dan merupakan gen yang baik

untuk model mengkaji ketahanan tanaman (Molekuler) terhadap nematoda. Ketahanan tanaman tomat terhadap nematoda puru akar dicirikan adanya sel-sel nekrosis (di sekitar kepala nematoda yang sedang menginvasi tanaman tomat tersebut) yang merupakan ekspresi respon ketahanan hipersensitif. Respon ketahanan tanaman tomat tersebut relatif cepat yaitu lebih kurang 12 jam setelah akar diinokulasi dengan larva stadia dua (Williamson *et al.*, 1994).

Mekanisme Ketahanan

Respon ketahanan dan kerentanan tanaman tomat telah dapat dideteksi antara 12-24 jam setelah inokulasi larva nematoda. baik pada tanaman tomat tahan maupun rentan nematoda tertarik menuju ujung akar dan penetrasi sedikit di belakang tudung akar, kemudian bergerak diantara sel-sel menuju *feeding site* (tempat makan). Diduga ekspresi ketahanan tanaman tomat tersebut terjadi pada saat nematoda migrasi ke *feeding site*. aktivitas enzim *phenylalanine ammonial lyase* (PAL) meningkat 12 jam setelah inokulasi nematoda. Larva nematoda tersebut akan mati atau meninggalkan akar beberapa hari setelah menginfeksi akar kemudian mencari inang baru (Williamson *et al.*, 1994).

b) Tanaman Tahan terhadap Virus

Beberapa tanaman seperti tomat, tembakau dan kentang berhasil disisipi gen yang menghasilkan protein pembungkus dari virus penyebab penyakit mozaik pada tembakau. Tanaman tahan terhadap penyakit virus dapat lebih meningkatkan efektivitas pengendalian penyakit virus dari pada penggunaan teknik yang biasa dilakukan. Misalnya dengan memasukkan gen penyandi tanaman terselubung (*coat protein*) *Johnson Grass Mosaic Poty Virus* (JGMV) ke dalam suatu tanaman, diharapkan tanaman tersebut menjadi resisten apabila diserang oleh virus yang bersangkutan.

d. Rekayasa genetika tanaman

Tumbuhan tertentu mempunyai sifat allelopati yang berfungsi melindungi tumbuhan tersebut dari pengaruh tumbuhan lain disekitarnya. Apabila sifat tersebut dapat dipindahkan ke tanaman lain maka akan diperoleh tanaman yang mampu mengendalikan gulma yang hidup disekitarnya.

3. Rangkuman

Bioteknologi dalam bidang perlindungan Tanaman yaitu bioteknologi yang diterapkan dengan cara memodifikasi atau merekayasa gen pada tanaman yang bersifat toksik atau merugikan terhadap OPT sehingga menciptakan tanaman dengan gen yang tahan terhadap OPT. Beberapa pemanfaatan bioteknologi dalam bidang perlindungan tanaman, antara lain:

- a) Peningkatan kinerja agen biokontrol. Biokontrol adalah penghambatan pertumbuhan, infeksi atau reproduksi satu organisme menggunakan organisme lain. Biokontrol merupakan salah satu alternatif metode pengendalian penyakit tanaman yang ramah lingkungan. Organisme yang digunakan dalam biokontrol disebut agen hayati.
- b) Deteksi dan Identifikasi Patogen. Salah satu teknik bioteknologi yaitu pembuatan antibodi monoklonal yang dapat digunakan sebagai perangkat deteksi yang sangat tepat dan cepat terhadap serangga penular atau transmitter penyakit virus seperti *Nephotettix virescens* yang menularkan penyakit tungro pada padi. Melalui pemanfaatan teknologi antibodi monoklonal, random amplified polymorphin DNA (RAPD), polymerase chain reaction (PCR) dan metode bioteknologi lain maka pengelompokan organisme berdasarkan sifat-sifatnya dapat dilakukan lebih teliti sehingga membantu penerapan PHT di lapangan.
- c) Pembuatan Tanaman Resisten OPT, hasil bioteknologi yang sudah dikembangkan dan digunakan dalam pembuatan tanaman resisten OPT yaitu membuat tanaman transgenik.
- d) Rekayasa genetika tanaman. Tumbuhan tertentu mempunyai sifat allelopati yang berfungsi melindungi tumbuhan tersebut dari pengaruh tumbuhan lain disekitarnya. Apabila sifat tersebut dapat dipindahkan ke tanaman lain maka akan diperoleh tanaman yang mampu mengendalikan gulma yang hidup disekitarnya.

4. Soal Latihan

- 1) Sebutkan dan berilah penjelasan singkat pemanfaatan bioteknologi dalam bidang perlindungan tanaman?

-
- 2) Berilah penjelasan mekanisme antagonis biofungisida untuk mengendalikan jamur patogen?
 - 3) Jelaskan mekanisme pengendalian jamur entomopatogen terhadap serangga?

5. Kunci Jawaban

- 1) Bioteknologi dalam bidang perlindungan Tanaman yaitu bioteknologi yang diterapkan dengan cara memodifikasi atau merekayasa gen pada tanaman yang bersifat toksik atau merugikan terhadap OPT sehingga menciptakan tanaman dengan gen yang tahan terhadap OPT. Beberapa pemanfaatan bioteknologi dalam bidang perlindungan tanaman, antarlain: Peningkatan kinerja agen biokontrol, Deteksi dan Identifikasi Patogen, Pembuatan Tanaman Resisten OPT, dan Rekayasa genetika tanaman.
- 2) Mekanisme antagonis untuk mengendalikan jamur patogen oleh biofungisida, antarlain;
 - a) Terjadinya kompetisi bahan makanan antara jamur patogen dengan *Trichoderma* di dalam tanah. Adanya pertumbuhan jamur yang berjalan begitu cepat dari *Trichoderma* akan mendesak pertumbuhan jamur.
 - b) Mikoparasitisme, jamur *Trichoderma* merupakan jamur yang bersifat mikoparasit, artinya jamur ini dapat menghambat pertumbuhan jamur dengan parasitisme. Mekanisme yang terjadi *Trichoderma* dapat melilit hifa jamur patogen, selain itu jamur ini juga mengeluarkan enzim yang mampu merombak dinding sel jamur patogen, sehingga jamur patogen mati. Beberapa jenis enzim pelisis yang telah diketahui dihasilkan adalah enzim kitinase dan β -1,3 glukanase
 - c) Antibiosis, *Trichoderma* juga menghasilkan antibiotik yang termasuk kelompok furanon yang dapat menghambat pertumbuhan spora dan hifa jamur patogen, diidentifikasi dengan rumus kimia 3-2-hydroxypropyl-4-2-hexadienyl)-2-5(5H)-furanon.
- 3) Mekanisme pengendalian jamur entomopatogen terhadap serangga, antara lain:

- a) *B. bassiana* menghasilkan spora yang dapat mempenetrasi langsung melalui kulit tubuh serangga.
- b) Konidia akan menempel pada kutikula inang dan akan berkecambah membentuk struktur penetrasi yaitu tabung kecambah yang menghasilkan hifa penetrasi
- c) *B. bassiana* menghasilkan enzim protease, kitinase, dan lipase yang menyerang dan melarutkan komponen penyusun kutikula serangga.
- d) hifa akan tumbuh menembus kutikula dan bagian epidermal menuju ke rongga tubuh serangga
- e) Pada rongga tubuh, hifa akan membentuk tubuh hifa vegetatif, dan pertumbuhannya akan meluas dengan cara replikasi, sehingga memenuhi seluruh rongga tubuh serangga.
- f) Nutrisi yang berada dalam hemolimfa dan di tubuh serangga akan habis karena pertumbuhan hifa vegetatif, sehingga menyebabkan serangga mati kelaparan.

6. Sumber Informasi dan Referensi

Cadet J, Sage E, Douki T. 2005. Ultraviolet radiation mediated damage to cellular DNA. *Mutation Research*. 571 (2): 3–17.

Lewis R. 1997. Human Genetics: Concepts and Application. 2nd Ed. Dubuque (US): Wm.C. Brown Publishers. hlm 189-191.

Shumann JP, Jones DT, Woods DR. 1984. Effect of UV irradiation on macromolecular synthesis and colony formation in *bacteroides fragilis*. *Journal of General Microbiology*. 130: 771-777.

Snyder L, Champness W, Henkin TM, Peters JE. 2003. *Molecular Genetics of Bacteria*. Washington (US): ASM Press.

Soedjono S. 2003. Aplikasi mutasi induksi dan variasi somaklonal dalam pemuliaan tanaman. *Jurnal Litbang Pertanian*. 22(2): 45-51.

Widyawati, N. 2013. Urban Farming Gaya Bertani Spesifik Kota. Lily Publisher. Yogyakarta.

C. Penilaian

1. **Sikap** : keikutsertaan dan partisipasi aktif dalam diskusi.
2. **Pengetahuan** : kemampuan menjawab pertanyaan dengan benar soal latihan.
3. **Keterampilan** : melaksanakan penerapan bioteknologi dalam bidang perlindungan tanaman hortikultura.

Kegiatan Pembelajaran 6 :

6. Tanaman Transgenik

A. Deskripsi

Teknik bioteknologi tanaman telah dimanfaatkan terutama untuk memberikan karakter baru pada berbagai jenis tanaman. Teknologi rekayasa genetika tanaman memungkinkan pengintegrasian gen-gen yang berasal dari organisme lain untuk perbaikan sifat tanaman. Salah satu contoh aplikasi bioteknologi di bidang pertanian adalah mengembangkan tanaman transgenik yang memiliki sifat (1) toleran terhadap zat kimia tertentu (tahan herbisida), (2) tahan terhadap hama dan penyakit tertentu, (3) mempunyai sifat-sifat khusus (misalnya: tomat yang matangnya lama, strawberry yang rasanya manis, kentang dan pisang yang berkhasiat obat), (4) dapat mengambil nitrogen sendiri dari udara (gen dari bakteri pemfiksasi nitrogen disisipkan ke tanaman sehingga tanaman dapat memfiksasi nitrogen udara sendiri), dan (5) dapat menyesuaikan diri terhadap lingkungan buruk (kekeringan, cuaca dingin, dan tanah bergaram tinggi). Penekanan pemberian karakter tersebut dapat dibagi kedalam beberapa tujuan utama yaitu peningkatan hasil, kandungan nutrisi, kelestarian lingkungan, dan nilai tambah tanaman-tanaman tertentu.

Sebagai contoh, beberapa tanaman transgenik yang dikembangkan adalah: 1). Peningkatan kandungan nutrisi: Pisang, cabe, raspberries, stroberi, 2). Peningkatan rasa: tomat dengan pelunakan yang lebih lama, cabe, buncis, 3). Peningkatan kualitas: pisang, cabe, strowberi dengan tingkat kesegaran dan tekstur yang meningkat 4). Kandungan bahan berkhasiat obat: tomat dengan kandungan *lycopene* yang tinggi (antioksidan untuk mengurangi kanker).

Pelepasan varietas suatu tanaman di Indonesia diatur melalui Keputusan Menteri Pertanian No. 902/Kpts/TP.240/12/96 tentang Pengujian, Penilaian dan pelepasan varietas.

B. Kegiatan Pembelajaran

1. Tujuan Pembelajaran

Tujuan dari pembelajaran ini adalah memberi penjelasan arti penting dari tanaman transgenik, mekanisme pembuatan tanaman transgenik, dampak penggunaan tanaman transgenik dan beberapa contoh dari penerapan tanaman transgenik.

2. Uraian Materi

a. Pengertian Tanaman Transgenik

Transgenik terdiri dari kata *trans* yang berarti pindah dan *gen* yang berarti pembawa sifat. Jadi transgenik adalah memindahkan gen dari satu makhluk hidup ke makhluk hidup lainnya, baik dari satu tanaman ke tanaman lainnya, atau dari sisipan gen mikroba ke tanaman. Transgenik secara definisi adalah *the use of gene manipulation to permanently modify the cell or germ cells of organism* (penggunaan manipulasi gen untuk mengadakan perubahan yang tetap pada sel makhluk hidup).

Tanaman transgenik adalah tanaman yang telah direayasa bentuk maupun kualitasnya melalui penyisipan gen atau DNA mikroba, seperti: bakteri, jamur, virus untuk tujuan tertentu. Transgenik adalah suatu organisme yang mengandung *transgen* melalui proses bioteknologi. *Transgen* adalah gen asing yang ditambahkan kepada suatu spesies. Suatu jasad yang memiliki sifat baru, yang sebelumnya tidak dimiliki oleh jenis jasad tersebut, sebagai hasil penambahan gen yang berasal dari jasad lain.

Secara ontologi tanaman transgenik adalah suatu produk rekayasa genetika melalui transformasi gen dari makhluk hidup lain ke dalam tanaman yang tujuannya untuk menghasilkan tanaman baru yang memiliki sifat unggul yang lebih baik dari tanaman sebelumnya. Pembuatan tanaman transgenik adalah dengan cara gen yang telah diidentifikasi diisolasi dan kemudian dimasukkan ke

dalam sel tanaman. Melalui suatu sistem tertentu, sel tanaman yang membawa gen tersebut dapat dipisahkan dari sel tanaman yang tidak membawa gen. Tanaman pembawa gen ini kemudian ditumbuhkan secara normal. Tanaman inilah yang disebut sebagai tanaman transgenik karena ada gen asing yang telah dipindahkan dari makhluk hidup lain ke tanaman tersebut (Muladno, 2002).

Transgenik artinya adalah memiliki materi genetik (DNA) dari organisme lain, dapat pula disebut sebagai *Genetically Modified Organism* (organisme yang termodifikasi secara genetik). Penggabungan gen asing ini mempunyai tujuan untuk mendapatkan tanaman dengan sifat-sifat yang diinginkan, misalnya pembuatan tanaman yang memiliki daya produksi tinggi, kualitas nutrisi tinggi, daya tahan yang tinggi terhadap penyakit dan cekaman lingkungan, serta kebutuhan yang rendah akan pupuk dan bahan kimia lain.

b. Sejarah Tanaman Transgenik

Sejarah penemuan tanaman transgenik dimulai pada tahun 1977 ketika bakteri *Agrobacterium tumefaciens* dikenal dapat mentransfer DNA atau gen yang dimilikinya ke dalam tanaman. Tanaman transgenik pertama kalinya yaitu bunga matahari yang disisipi gen dari buncis (*Phaseolus vulgaris*) dibuat tahun 1983 oleh Herbert Boyer dan Stanley Cohen. Sejak saat itu, pengembangan tanaman transgenik untuk kebutuhan komersial dan pengembangan tanaman berlanjut.

Pada tahun 1988 telah ada sekitar 23 tanaman transgenik, pada tahun 1989 terdapat 30 tanaman, pada tahun 1990 lebih dari 40 tanaman. Tanaman transgenik pertama yang sukses dihasilkan dan dipublikasikan yaitu jagung dan kedelai. Keduanya diluncurkan pertama kali di Amerika Serikat pada tahun 1996. Pada tahun 2004, lebih dari 80 juta hektare tanah pertanian di dunia telah ditanami dengan tanaman transgenik dan 56% kedelai di dunia yaitu kedelai transgenik.

c. Pembuatan Tanaman Transgenik

Tanaman transgenik merupakan tanaman yang memiliki gen atau telah disisipi gen dari organisme lain, kata lainnya disebut sebagai *Genetically Modified Organism* (organisme yang termodifikasi secara genetik). Contoh manfaat dari

penyisipan gen tersebut diantaranya: agar tanaman lebih tahan hama penyakit, lebih toleran terhadap panas, dingin ataupun kekeringan, dan banyak lagi manfaat lainnya.

Tahapan Pembuatan tanaman transgenik antara lain:

1) Identifikasi atau pencarian gen

Identifikasi atau pencarian gen yang akan menghasilkan sifat tertentu (sifat yang diinginkan). Gen yang diinginkan dapat diambil dari tanaman lain/ hewan/ cendawan/ atau bakteri.

2) Kloning gen

Setelah gen yang diinginkan didapat maka dilakukan perbanyakan gen yang disebut dengan istilah kloning gen. Pada tahapan kloning gen, DNA asing akan dimasukkan ke dalam vektor kloning (agen pembawa DNA), contohnya plasmid (DNA yang digunakan untuk transfer gen).

3) Perbanyakan DNA

Vektor kloning akan dimasukkan ke dalam bakteri sehingga DNA dapat diperbanyak seiring dengan perkembangbiakan bakteri tersebut.

4) Transfer gen

Apabila gen yang diinginkan telah diperbanyak dalam jumlah yang cukup maka akan dilakukan transfer gen asing tersebut ke dalam sel tumbuhan yang berasal dari bagian tertentu. Salah satunya adalah bagian daun.

Teknologi transfer gen dibedakan menjadi dua, yaitu langsung dan tidak langsung (Herman, 1996).

➤ **Transfer gen secara langsung**

Contoh transfer gen secara langsung adalah penembakan eksplan gen dengan *gene gun* (Melalui Partikel Bombardment).

Partikel bombardment merupakan salah satu teknik yang digunakan untuk memasukkan DNA asing ke dalam kultur sel dengan cara penembakan. Melalui teknik ini, gen asing ditransfer secara langsung ke dalam sel atau jaringan, dengan daerah kisaran yang luas.

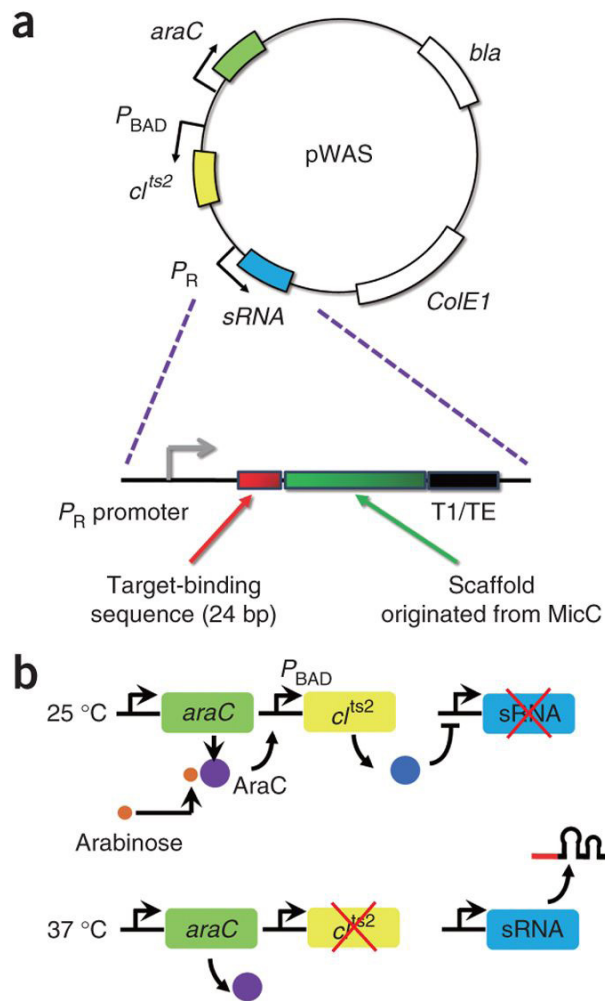


Gambar 11. Helios Gen Gun dan Alat Gen Gun Standar

(Sumber: ikedarika.co.jp.)

Para saintis telah memodifikasi alat ini sehingga dapat mentransfer DNA ke dalam mitokondria yeast, kloroplas dan mikro alga hijau (Clark, 2012: 406).

Gen terkandung dalam plasmid ataupun dalam kaset gen (fragmen linear gen hasil PCR). Pada plasmid terdapat marker khusus, promoter, sekuen gen dan terminator sedangkan kaset gen terdiri atas promoter, primer, probe, sekuen gen, terminator. Transformasi menggunakan partikel bombardment dapat dilakukan dengan lebih dari satu plamid yang membawa gen berbeda untuk berintegrasi dalam genom tumbuhan yang sama, contohnya gen yang mengkode PHA untuk jalur metabolit (Romano, dkk., 2003).

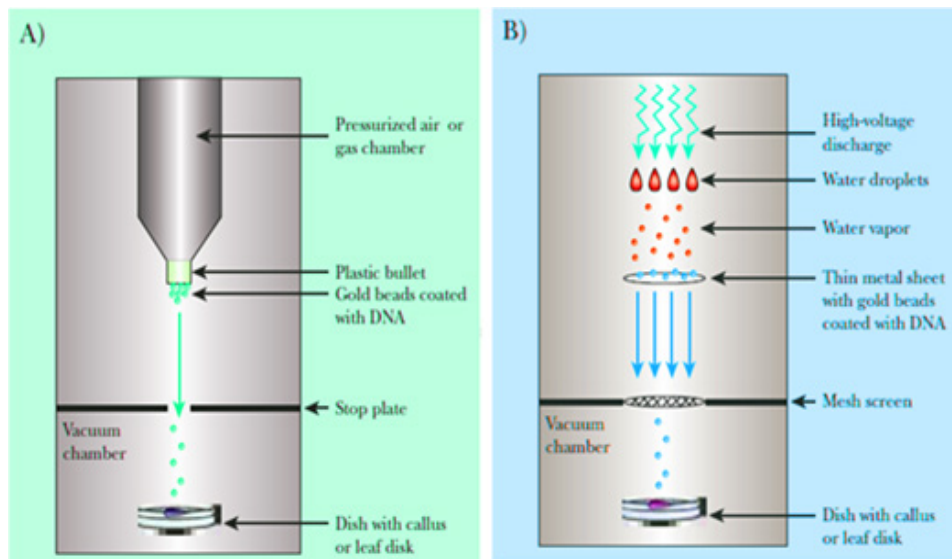


Gambar 12. Skema Kaset Gen (Sumber: media.nature.com.)

Teknik kerja partikel bombardment

Pada teknik bombardment, DNA dibawa oleh partikel logam emas atau tungsten yang berukuran mikroskopik. Partikel yang digunakan untuk bombardment biasanya berupa emas karena bersifat inert, padat, dan tidak beracun dalam sel. Partikel emas lebih aman untuk digunakan karena tungsten dapat bersifat toksik pada beberapa tanaman. Partikel yang membawa DNA ditembakkan oleh senapan (gun) ke dalam jaringan tanaman dan menembus dinding sel untuk masuk ke dalam nukleus, mitokondria atau kloroplas dan menyatu dengan kromosom DNA inang. DNA vektor/plasmid membawa sekuen spesifik yang digunakan untuk mengenali lokasi yang tepat atau yang diinginkan untuk berintegrasi dengan genome (Hayes dan Frieda, 2010).

Clark (2012) menyebutkan bahwa gen gun dapat beroperasi melalui 2 cara yaitu dengan pemberian tekanan udara maupun tegangan voltase yang tinggi.



Gambar 13. Tipe Gen Gun. A. Tekanan Udara; B. Tegangan Voltase Tinggi

(Sumber: <http://rumahbiotek.blogspot.com>.)

DNA melepaskan diri dari partikel di dalam sel. Beberapa DNA masuk ke dalam organel target dan berhasil berintegrasi dengan kromosom DNA inang. Kemudian sel/jaringan transgen ditumbuhkan dalam medium kultur khusus sesuai dengan DNA yang membawa penanda khusus, misalnya gen resisten herbisida atau insektisida, gen yang dapat mendegradasi merkuri. Hasil kultur dianalisis untuk mengetahui hasil ekspresi DNA asing. Teknik analisis untuk mengetahui ekspresi transgen dilakukan melalui analisis southern blotting atau PCR (Romano, dkk., 2003).

Faktor-faktor keberhasilan

Ada beberapa variabel yang harus dikontrol agar tingkat keberhasilan transformasi efektif, meliputi:

- a) Temperatur, jumlah sel dan kemampuan regenerasi sel atau totipotensi yang digunakan. Eksplant yang digunakan lebih baik eksplant yang masih memiliki kemampuan mersitematis, misalnya jaringan embrional dan epikotil (Indurker, 2006).

- b) Jumlah DNA yang menyelubungi partikel logam yang ditransfer ke dalam sel/jaringan (Eisenbraun, 1993)
- c) Tipe senapan yang digunakan, jenis microcarrier, pemberian tekanan helium (Indurker, 2006).

Keuntungan

- a) Gen gun dapat digunakan pada jangkauan yang lebih luas, misalnya pada tumbuhan dapat digunakan organ daun. Bakteri atau virus tidak dapat mentransfer gen ke dalam kloroplas sehingga metode gen gun dapat digunakan untuk memasukkan DNA asing ke dalam kloroplas.
- b) Transformasi genetik lebih sederhana, cepat, dan memberikan frekuensi hasil transforman yang lebih tinggi dibandingkan menggunakan *Agrobacterium*. Transformasi menggunakan *Agrobacterium* pada buncis memiliki frekuensi hasil transformasi rata-rata 0.5-3%, sedangkan menggunakan partikel bombardment yaitu 18% (Indurker, 2006).

Keterbatasan

Keterbatasan transformasi menggunakan partikel bombardment dibandingkan *Agrobacterium* yaitu :

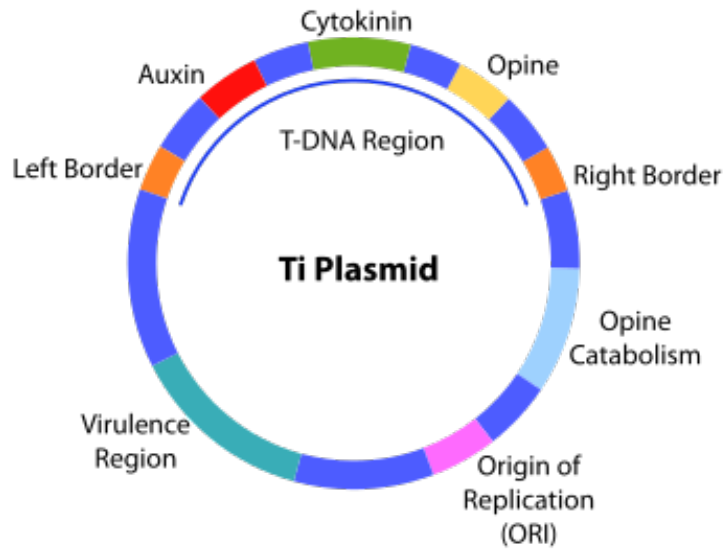
- a) Harga alat dan perlengkapannya cukup mahal
- b) Penembusan partikel ke dalam jaringan cukup dangkal
- c) Daerah penembusan DNA plasmid ke dalam jaringan target cukup luas sehingga DNA yang ditransfer ke dalam sel acak. Beberapa sel yang tidak mengekspresikan transgen, akan mati jika ditumbuhkan dalam medium kultur kusus (Clark, 2012: 405).
- d) Seringkali terjadi penggabungan salinan ganda transgen pada sisi tunggal penyisipan, penyusunan ulang gen yang menyisip dan penggabungan transgen pada sisi penyisipan ganda. Salinan ganda dapat menyebabkan hilangnya transgen pada keturunan berikutnya (Yao *et al.*, 2006).

➤ **Transfer gen secara tidak langsung**

Transfer gen secara tidak langsung adalah melalui vector *Agrobacterium tumefaciens*. *Agrobacterium* adalah genus dari bakteri gram negatif yang ditemukan oleh H.J.Conn yang digunakan untuk transfer gen secara horizontal yang menyebabkan tumor.

Secara alami, *A. tumefaciens* dapat menginfeksi tanaman dikotil melalui bagian tanaman yang terluka sehingga menyebabkan *crown gall tumor*. Bakteri yang tergolong ke dalam gram negatif ini memiliki sebuah plasmid besar (lebih dari 200 kb) yang disebut plasmid-Ti yang berisi gen penyandi faktor virulensi penyebab infeksi bakteri ini pada tanaman. Untuk memulai pembentukan tumor, *A. tumefaciens* harus menempel terlebih dahulu pada permukaan sel inang dengan memanfaatkan polisakarida asam yang akan digunakan untuk melakukan kolonisasi pada sel tanaman.

Plasmid Ti adalah vektor alami yang digunakan untuk mentransfer DNA ke dalam sel tanaman. Pada sebagian besar plasmid Ti, terdapat empat kompleks gen, yaitu T-DNA (bagian yang ditransfer dan menyatu dengan genom tanaman, gen virulen (*vir*) yang terdiri dari 50 kilo-basa untuk mengatur proses transfer T-DNA ke dalam DNA tanaman, gen *tra/trb* yang mengatur perpindahan plasmid Ti antar bakteri (*conjugative transfer*), bagian yang mengatur sistem replikasi plasmid (ORI), dan bagian gen yang menyandikan *katabolisme opine*. Molekul opin ini akan dihasilkan oleh jaringan tanaman yang terinfeksi bakteri pembawa plasmid Ti dapat berupa *octopine*, *nopaline*, *succinamopine* dan *leucinopine*. Plasmid Ti ini memiliki 196 gen yang dikode oleh 195 protein, memiliki panjang 206,479 nukleotida, kandungan GC 56% dan 81% material yang dikode oleh gen.



Gambar 14. Peta Ti plasmid *Agrobacterium tumefaciens*

(Sumber: en.wikipedia.org.)

Daerah virulensi (*virulence region*) terdiri gen *virABCDEFGHI* yang mengkode suatu enzim yang bertanggung jawab untuk mentransfer T-DNA ke dalam sel tumbuhan, yaitu:

- ✓ *virA* mengkode reseptor (transmembrane dimeric sensor protein) yang beraksi ketika adanya senyawa phenolic berupa acetosyringone, syringaldehyde atau acetovanillone yang dikeluarkan dari kerusakan jaringan tumbuhan.
- ✓ *virB* mengkode protein yang menghasilkan struktur seperti pilus
- ✓ *virC* berikatan dengan enhancer pada T-region
- ✓ *virD1* dan *virD2* mengenali T-DNA border dan menghasilkan endonuklease yang memotong (*nicking*) ujung kiri dan ujung kanan dari T-DNA yang dimulai dari ujung kanan
- ✓ *virG* adalah faktor transkripsi (*transcriptional factor*) yang mengaktifkan ekspresi gen *Vir* setelah berikatan dengan sekuens yang cocok.

Pada kromosom *Agrobacterium* setiap elemen gen menunjukkan peranan yang berbeda untuk perlekatan *A. Tumefaciens* ke sel tumbuhan. Locus *chvA* dan *chvB* terlibat dalam sintesis dan ekskresi β 1,2 glucan (Cangelosi et al., 1989), *chvE*

dibutuhkan dalam pengenalan gula dari induksi gen vir dan untuk kemotaksis bakteri tersebut (Ankenbauer et al., 1990, Cangelosi et al., 1991), lokus cel bertanggung jawab untuk sintesis fibril selulosa (Matthysse 1983), lokus pscA (exoC) berperan dalam siklus glukosa dan asam sukkinoglikat (Cangelosi et al., 1991), dan lokus att yang terlibat dalam pembentukan protein permukaan sel bakteri (Matthysse, 1987).

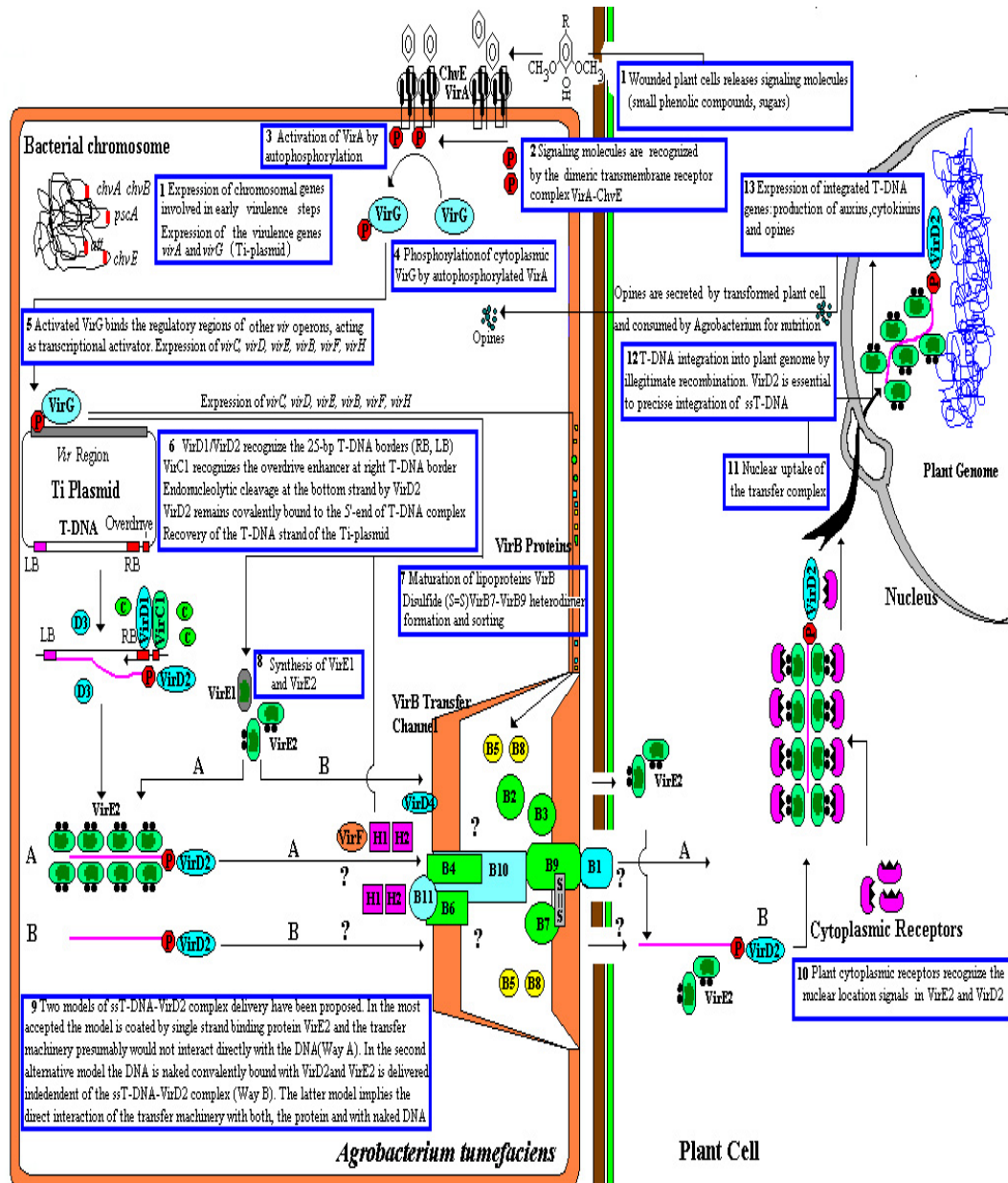
Di alam, *Agrobacterium* tertarik pada tumbuhan yang memiliki luka kecil yang mengeluarkan senyawa *phenolik* seperti *acetosyringone* dan gula. Senyawa ini menginduksi bakteri untuk berpindah dan melekat pada tumbuhan melalui berbagai macam reseptor permukaan sel. Induser yang sama mengaktifkan ekspresi gen vir yang terdapat pada Ti plasmid yang bertanggung jawab untuk transfer ss-DNA menuju sel tumbuhan. Ini di bawah kendali dua komponen sistem regulasi yaitu virA protein yang mengenali *acetosyringone* yang dikode oleh gen virA di dalam Ti-plasmid dan chvE protein yang mengenali gula yang dikode di dalam kromosom bakteri. Senyawa-senyawa tersebut mengeluarkan sinyal yang dikenali oleh reseptor dimeric transmembran kompleks virA chvE. Pada permukaan sel, sensor melakukan aktivasi Vir A dengan cara autophosphorilasi ketika mendeteksi senyawa phenolic tumbuhan. Selanjutnya Vir A akan mengirimkan fosfat untuk pengikatan DNA oleh protein Vir G sebagai faktor transkripsi yang mengaktifkan proses transkripsi gen vir pada plasmid Ti yang akan mengekspresikan virC, virD, virE, virB, virF dan virH. Dua gen yang dihasilkan VirD1 dan VirD2 yang mengenali 25 pb pada kedua ujung T-DNA yang kemudian memotongnya (nicking) membentuk kompleks untai tunggal T yang belum matang (immature) yang disebut kompleks ssT-DNA-VirD2.

secara in vitro membuktikan bahwa kehadiran dari virD1 sangat dibutuhkan untuk memotong ssT-DNA oleh virD2. VirD2 pada saat itu melekat pada ujung 5' akhir dari T-DNA dan memotongnya secara endonukleolitik sehingga akan membentuk gap (celah), dan helikase bakteri melepaskan T-DNA dari plasmid. Celah (gap) untai tunggal pada plasmid tersebut akan segera diperbaiki. Kemudian T-DNA akan ditempatkan pada suatu cekungan yang diselubungi dengan protein VirE2 yang disebut dengan *hollow cylindrical filament* dengan

struktur yang bergulung. Ini adalah bentuk matang (mature) dari T-DNA yang siap masuk ke dalam sel tumbuhan.

Sebenarnya ada dua model teori pengiriman kompleks ssT-DNA-VirD2 yang telah dikemukakan. Tetapi, yang banyak diterima adalah model penyelubungan untai tunggal oleh protein VirE2 (single strand binding protein virE2) dan mesin transfer (virB) kemungkinan tidak berinteraksi secara langsung dengan T-DNA. Pada alternatif model yang kedua, kompleks ssT-DNA-VirD2 nampak telanjang karena tidak diselubungi oleh virE2 sehingga terjadi interaksi langsung antara mesin transfer (virB) dengan kompleks ssT-DNA-VirD2, sedangkan virE2 ditransfer secara independent oleh mesin transfer ke dalam sel tumbuhan. Telah diketahui bahwa virE1 sangat diperlukan untuk ekspor virE2 ke dalam sel tumbuhan. Strain bakteri yang telah dimutasi virE1 nya tidak dapat mengekspor virE2 sehingga terakumulasi di dalam sel bakteri tersebut.

T-DNA ditransfer ke tumbuhan sama halnya dengan konjugasi bakteri. Pertama-tama *Agrobacterium* membentuk suatu pilus yang merupakan ekpresi dari gen virB. Pilus ini menyerupai batang yang menghubungkan dengan sel tumbuhan dan membuka saluran yang siap ditransferkan secara aktif T-DNA ke dalam sitoplasma tumbuhan. Pilus dan kompleks transport terdiri dari protein yang dihasilkan oleh gen vir. Kemudian, reseptor sitoplasma (*plant cytosolic protein*) tumbuhan mengenali signal lokasi inti pada virE2 dan vir D2 yang akan membentuk suatu kompleks dan membawanya menuju suatu lubang pada nukleus yang disebut *nuclear uptake / nuclear pore* dan mentransfer kompleks ssT-DNA-VirD2 ke dalam genom tumbuhan. T-DNA akan terintegrasi ke dalam genom tumbuhan secara *illegitimate recombination* (rekombinasi yang tidak ketahui mekanismenya) dan berubah bentuk menjadi untai ganda (*double-stranded*). Integrasi ini membutuhkan DNA ligase, polymerase, dan protein yang mengubahnya menjadi kromatin (*chromatin remodeling proteins*) yang semuanya disediakan oleh tumbuhan. VirD2 sangat diperlukan dalam ketepatan integrasi ssT-DNA ke dalam genom tumbuhan. Ekspresi dari integrasi gen T-DNA ini adalah produksi dari auksin, sitokinin dan opine. Opine adalah sekret yang dikeluarkan oleh sel tumbuhan dan dikonsumsi oleh *Agrobacterium* sebagai nutrisinya.



Gambar 15. Proses Transfer T-DNA *Agrobacterium tumefaciens*

(Sumber: bio.davidson.edu.)

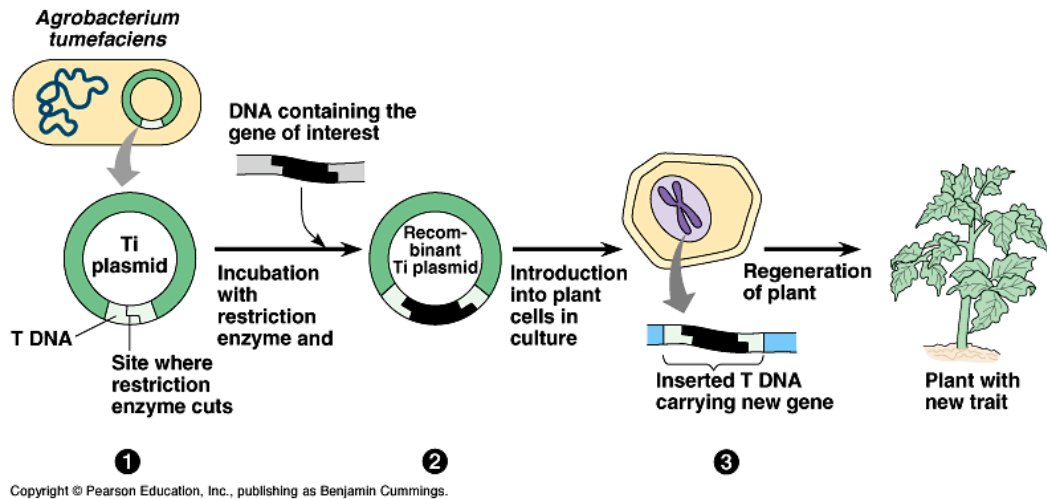
Gen pada T-DNA akan diekspresikan sama halnya pada eukaryot yang memiliki promoters, enhancer dan bagian poly (A). Oleh sebab itu, ekspresi dalam nukleus tumbuhan lebih baik dibandingkan pada *Agrobacterium*. Protein ini akan menyandi sintesis dua hormon pertumbuhan yang auksin dan sitokinin. Auksin membuat sel tumbuhan menjadi lebih besar dan sitokinin berperan dalam

pembelahan sel. Sel tumbuhan yang diinfeksi ini akan memulai tumbuh cepat dan tanpa kontrol sehingga menghasilkan tumor.

T-DNA juga membawa gen untuk mensintesis opine yang mana merupakan variasi yang berbeda dari asam amino dan derivat gula fosfat. Opine dihasilkan oleh sel tumbuhan yang dikandung T-DNA tetapi digunakan oleh bakteri sebagai sumber carbon, nitrogen dan energi. Ini adalah cara bagaimana bakteri menggunakan tumbuhan untuk menghasilkan sumber makanan bagi bakteri. Plasmid Ti selalu berada dalam *Agrobacterium*, membawa gen yang menyediakan bakteri untuk mendapatkan opine.

Dalam prakteknya, *Agrobacterium* digunakan untuk mentransfer gen dari suatu kepentingan kedalam tumbuhan menggunakan kultur jaringan. Tiap pemisahan sel tumbuhan disebut protoplas atau sebuah bagian dari kalus yang di kultur dengan *Agrobacterium* mengandung sebuah plasmid Ti yang dimodifikasi T-DNA nya. Setelah kokultur, sel tumbuhan dipanen dan di inkubasi dengan herbisida dan antibiotik yang digunakan sebagai marker selektif. Ini akan membunuh semua sel yang tidak ditransformasikan T-DNA atau gagal untuk mengekspresikan gen pada T-DNA. Sel yang telah ditransformasikan dapat di induksi untuk menghasilkan tunas dan jaringan akar dengan mengubah kondisi hormon pada medium mudah diuraikan. Tumbuhan transgenik yang masih kecil dapat dilindungi untuk level ekspresi transgen berikutnya.

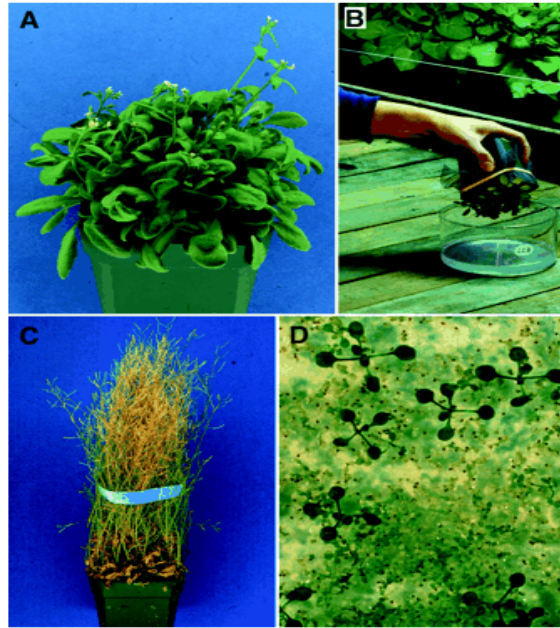
Daerah T-DNA dari Ti plasmid dapat direkayasa genetika dengan menambah gen resisten antibiotik (*antibiotic resistance gene* (kanR)) dan DNA asing yang diinginkan. Integrasi DNA asing kedalam sel tumbuhan mengganggu pembentukan tumor dan hanya sel tumbuhan dengan gen kanR yang dapat tumbuh pada kultur yang mengandung antibiotik. Tumbuhan sangat mudah beregenerasi dari kultur sel (kalus) dan tumbuhan transgenik yang telah dewasa mengekspresikan gen asing.



Gambar 16. Produksi Tumbuhan Transgenik dengan Menggunakan Integrasi Ti plasmid

(Sumber: zo.utexas.edu.)

Baru-baru ini, sebuah metode yang disebut dengan in-planta ***Agrobacterium transformation*** telah dikembangkan dan merevolusi dunia transformasi tumbuhan. Transformasi in planta juga diketahui sebagai metode floral dip. Metode ini telah dikembangkan menggunakan tumbuhan model Arabidopsis tetapi sedang diperluas untuk tumbuhan lain, seperti gandum dan jagung (Gambar 16): A. Pertama, Arabidopsis ditumbuhkan sampai tunas bunga mulai terbentuk. Tunas kemudian dipindahkan dan dibiarkan beregenerasi untuk beberapa hari. B. Ketika mulai beregenerasi, tumbuhan dicelupkan ke dalam suspensi *Agrobacterium* yang berupa surfaktan. Surfaktan *Agrobacterium* dibiarkan untuk melekat pada tumbuhan dan mentransfer T-DNA nya. Karena tunas bunga sudah mulai terbentuk, T-DNA akan menjadi bagian dari jaringan ovarium sampai akhirnya tumbuhan menyelesaikan pertumbuhan dan pembentukan bibitnya. C. Tanaman dipelihara selama beberapa minggu hingga dewasa dan kemudian bibit anakan dipanen. D. Bibit tersebut dipanen dan ditumbuhkan pada medium selektif untuk mendapatkan gen yang terintegrasi dan ekpresi T-DNA. Meskipun, metode ini memberikan persentase rendah terbentuknya transforman.



Gambar 17. Metode in planta *Agrobacterium transformation*

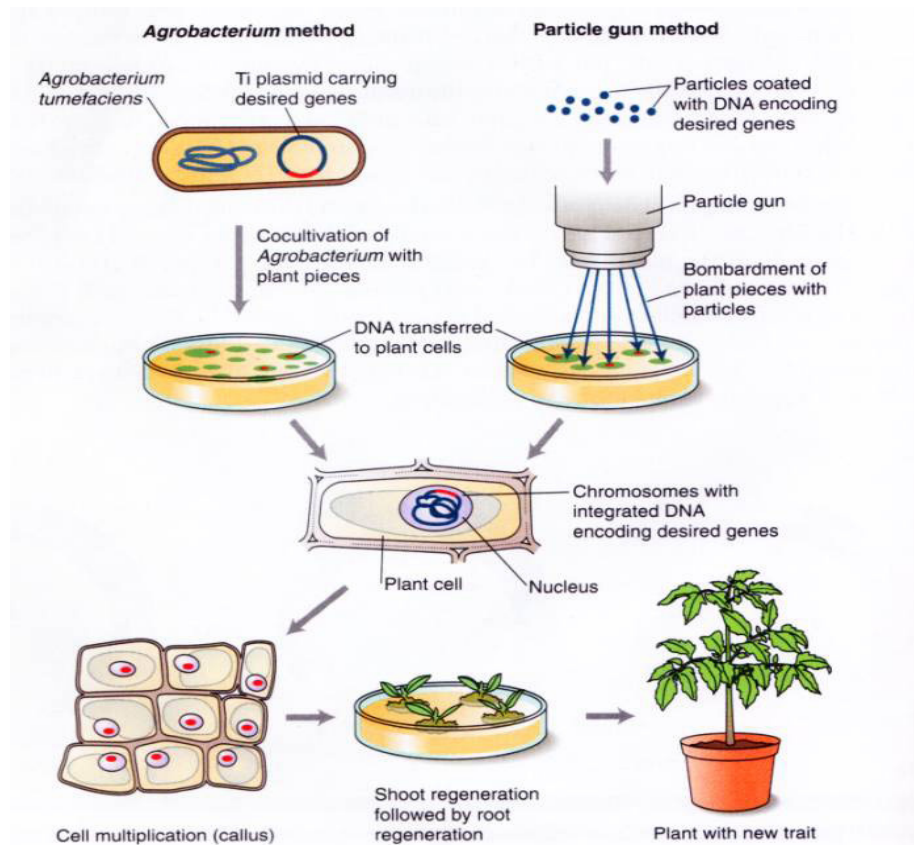
(<http://2.bp.blogspot.com>.)

Agrobacterium merupakan sistem transformasi gen yang menguntungkan karena efisiensinya tinggi dan integrasinya stabil. *Agrobacterium tumefaciens* dinyatakan dapat membawa setiap gen yang diinginkan di dalam T-kompleks dan memasukkannya ke dalam DNA target pada tanaman dengan tingkat keberhasilan yang tinggi. Hal tersebut dikarenakan untai T-DNA *Agrobacterium tumefaciens* tidak seperti komponen genetik mobile pada transposon dan retrovirus yang menyandikan fungsi bagi pergerakan dan integrasi DNA.

Transformasi dengan *Agrobacterium* juga memiliki beberapa keuntungan lain, diantaranya bersifat dapat diulang (*reproducible*), relatif lebih murah, memberikan pola integrasi yang tegas, jumlah salinan dalam genom sedikit (1-3 salinan) sehingga memudahkan untuk membedakan sifat ekspresi tanaman transgenik itu sendiri. Pada awalnya teknik transformasi dengan *Agrobacterium* hanya berhasil pada tanaman dikotil ketika tanaman ini menghasilkan senyawa induser untuk menginduksi gen vir ketika tanaman luka dan mengeluarkan getah. Tanaman tembakau dan solanaceae adalah contoh pertama tanaman dikotil yang berhasil ditransformasi.

Selain menyisipkan gen target untuk perubahan sifat tanaman tertentu yang dikehendaki, transformasi genetik dengan *Agrobacterium* pada tanaman juga bermanfaat untuk membuat populasi tanaman mutan. Dengan menggunakan *Agrobacterium* memungkinkan diperoleh mutan dalam jumlah banyak dalam suatu periode yang relatif singkat. Pembuatan mutan dilakukan dengan menggunakan elemen loncat (*transposon*) misalnya *transposon* Ac/Ds. *Transposon* Ds akan berpindah posisi dalam genom pada tempat berbeda dan tersisip pada gen-gen fungsional. Sedangkan elemen Ac menyandikan suatu enzim yang mengaktifkan elemen Ds untuk bertransposisi. Adanya penyisipan Ds ini memungkinkan fenotipe tanaman menjadi beragam. Keragaman mutan ini dapat dijadikan sebagai sumber plasma nutfah baru untuk selanjutnya dapat dilakukan isolasi gennya (Mulyaningsih, 2009).

Adapun secara lengkap cara tranfer gen dapat dilihat pada ilustrasi gambar di bawah ini:



Gambar 18. Metode Transfer Gen ke Tanaman
(Sumber: klikisma.com.)

5) Multifikasi dan Regenerasi

Multipikasi adalah sebuah kegiatan memperbanyak calon tanaman dengan menanam eksplan pada media yang dilakukan di laminar flow untuk menghindari adanya kontaminasi yang menyebabkan gagalnya pertumbuhan eksplan. Kompetensi untuk beregenerasi, yaitu kemampuan kalus membentuk tanaman lengkap sehingga terbentuk tumbuhan dengan sifat yang baru.

Cara Mendeteksi Gen yang Berhasil Masuk ke dalam Sel Tanaman dan menjadi Tanaman Transgenik

Untuk mendeteksi gen pengkode protein tertentu yang kita inginkan sudah masuk atau belum ke dalam suatu tanaman, kita membutuhkan tes/ujicoba. Misalnya, jika yang kita sisipkan itu adalah gen pengkode *kanamycin*, kita dapat memasukkan *kanamycin* ke dalam suatu medium dan meletakkan sel tanaman yang sudah disisipi gen pengkode *kanamycin*. Tanaman yang sudah tersisipi gen pengkode *kanamycin* akan tumbuh di medium tersebut, sedangkan sel tanaman yang tidak tersisipi tidak akan tumbuh dalam medium tersebut.

d. Contoh Tanaman Transgenik

1) Tanaman Toleran terhadap Herbisida

Herbisida mengandung senyawa kimia yang dapat membunuh atau menghambat pertumbuhan tanaman. Umumnya digunakan untuk mengatasi gulma pada tanaman. Celakanya, senyawa ini justru akan membunuh tanaman yang ditanam bila tanaman tersebut tidak toleran terhadap herbisida. Herbisida biasanya menghambat proses fotosintesis pada tanaman, juga dapat menghambat reaksi enzim penting pada tanaman. Sifat inhibisi oleh herbisida akan berkurang dengan semakin meningkatnya daya to-leransi tanaman terhadap herbisida.

Senyawa kimia pada herbisida yang mempunyai sifat inhibitor adalah glyphosate. Glyphosate dapat menghambat kerja enzim 5-endpyruvyl shkimate 3-phosphate synthase (EPSP synthase), merupakan enzim penting bagi biosintesis asam amino aromatik tyrosine, phenylalanine, dan tryptophan. Para peneliti telah berhasil mengisolasi mutan *Salmonella typhimurium*, *Aerobacter aerogenes*, dan *E. coli* yang toleran terhadap glyphosate. Pada bakteri, EPSP synthase dikode oleh

gen Aro A. Ketika gen Aro A dilengkapi dengan promoters tanaman dan signal polydenylation (membentuk chimeric genes), kemudian ditransformasikan ke dalam tanaman, maka akan dihasilkan tanaman transgenik yang meningkat daya toleransinya terhadap glyphosate.

2) Tanaman Resisten terhadap Serangga

Beberapa mikroorganisma dan tanaman tertentu menghasilkan protein yang bersifat racun bagi patogen tanaman tertentu, baik mikroba patogen maupun serangga yang menjadi hama dengan cara memakan bagian tanaman tersebut. Prinsip sederhana untuk mendapatkan tanaman tersebut adalah dengan cara mentransfer gen pengkode protein yang bersifat racun tersebut pada tanaman target. Diharapkan gen tersebut dapat diekspresikan sehingga tanaman target dapat tahan terhadap serangga. *Bacillus thuringiensis* mengandung gen pengkode protein yang mempunyai sifat racun terhadap serangga tertentu, misalnya *B. thuringiensis* kurstaki membunuh larva lepidoptera seperti *tobacco hornworm*. Gen pengkode racun tersebut telah diisolasi dan diperlakukan sehingga membentuk *chimeric genes*. *Chimeric genes* ini ditempatkan dalam Ti vektor pada *A. tumefaciens* kemudian di kokultivasikan dengan potongan daun tomat. Kemudian dihasilkan tanaman tomat transgenik yang memperlihatkan hasil ekspresi *chimeric genes* tersebut. Tanaman transgenik tersebut kemudian diuji daya tahannya dengan membiarkan larva pemakan daun (*tobacco hornworm larvae*) memakan bagian tanaman tersebut. Selang beberapa hari larva tersebut mati, sedangkan larva pada tanaman kontrol (bukan transgenik) larva tersebut justru sehat, dan memakan hampir seluruh bagian tanaman.

3) Tanaman Transgenik Tahan Penyakit

Perkembangan yang signifikan juga terjadi pada usaha untuk memproduksi tanaman transgenik yang bebas dari serangan virus. Dengan memasukkan gen penyandi tanaman terselubung (*coat protein*) *Johnson grass mosaic poty virus* (JGMV) ke dalam suatu tanaman, diharapkan tanaman tersebut menjadi resisten apabila diserang oleh virus yang bersangkutan. Potongan DNA dari JGMV, misalnya dari protein terselubung dan protein *nuclear inclusion body* (Nib) mampu diintegrasikan pada tanaman jagung dan diharapkan akan menghasilkan

tanaman transgenik yang bebas dari serangan virus. Virus JGMV menyerang beberapa tanaman yang tergolong dalam famili *Graminae* seperti jagung dan sorgum yang menimbulkan kerugian ekonomi yang cukup besar. Gejala yang ditimbulkan dapat diamati pada daun berupa mosaik, nekrosa atau kombinasi keduanya. Akibat serangan virus ini, kerugian para petani menjadi sangat tinggi atau bahkan tidak panen.

4) Tanaman Transgenik Tahan Kekeringan

Tanaman tahan kekeringan memiliki akar yang sanggup menembus tanah kering, kutikula yang tebal sehingga mengurangi kehilangan air dan kesanggupan menyesuaikan diri dengan garam di dalam sel. Tanaman toleran terhadap kekeringan ditransfer dari gen kapang yang mengeluarkan enzim *trehalose*. Tembakau adalah salah satu tanaman yang dapat toleran terhadap suasana kekeringan.

e. **Pro dan Kontra Tanaman Transgenik**

Tanaman transgenik memiliki beberapa dampak yang menguntungkan, namun juga merugikan. sampai tahun 2013 ini, tanaman transgenik masih menjadi pro dan kontra di masyarakat. Masyarakat yang pro pada penggunaan tanaman transgenik terutama melihat pada potensi pemanfaatan tanaman transgenik untuk mengatasi krisis pangan, dan cenderung berpendapat penggunaan transgenik tidak berbahaya.

Sedangkan pada masyarakat yang kontra terhadap penggunaan transgenik karena mengkhawatirkan dampak yang ditimbulkan konsumsi tanaman transgenik terhadap kesehatan dan lingkungan. Hal ini terjadi karena tanaman transgenik belum dievaluasi penggunaannya secara mendetail dalam jangka panjang sebelum dilepaskan ke pasaran.

1) **Keuntungan Penggunaan Tanaman Transgenik**

Pada awalnya rekayasa genetika atau modifikasi sifat tanaman itu tujuannya untuk meningkatkan produksi pangan dalam mencukupi kuantitas produksi tanaman. Kemudian hal tersebut meningkat, bukan hanya itu saja tetapi juga terjadi rekayasa pada kandungan gizi dalam tanaman bisa lebih baik lagi.

Rekayasa genetik ini tidak berhenti disini saja tetapi sudah memiliki tujuan yang lebih jauh yaitu keluar dari sifat sifat aslinya seperti tahan terhadap temperatur tinggi, tahan terhadap temperatur rendah, bisa hidup pada daerah yang kurang air, tahan terhadap berbagai macam penyakit dan hama, mampu memproduksi dalam waktu singkat dengan hasil yang signifikan.

Keuntungan penggunaan tanaman transgenik (Kompas Edisi Januari 2000), antarlain:

- a) Panen tinggi: Tanaman hasil rekayasa genetik dapat membantu memperbaiki jumlah dan kualitas panen di lahan marjinal seperti tanah asam dan tandus,
- b) Perbaikan nutrisi: Produk tanaman, kedelai misalnya, bisa dimodifikasi mengandung lebih banyak protein, zat besi, untuk mengatasi anemia. Baru-baru ini, ilmuwan Eropa berhasil memasukkan vitamin A pada padi,
- c) Perbaikan kesehatan: Vaksin di dalam produk tanaman akan mempermudah pencapaian sasaran dan cakupan,
- d) Sedikit bahan kimia: Tanaman rekayasa genetik yang sudah dibuat tahan hama dan gulma misalnya, tidak memerlukan lagi pestisida dan herbisida.

Keunggulan tanaman trasgenik antara lain:

- ✓ Tanaman transgenik lebih produktif dan memiliki hasil yang lebih besar.
- ✓ Peningkatan kualitas biji-bijian
- ✓ Peningkatan kadar protein
- ✓ Pembentukan tanaman resisten hama, penyakit, dan herbisida
- ✓ Pembentukan tanaman toleran kekeringan, tanah masam, suhu ekstrem
- ✓ Pembentukan tanaman yang lebih bernilai nutrisi tinggi, seperti vit C, E dan β -karoten
- ✓ Lebih ramah lingkungan karena mereka membutuhkan lebih sedikit herbisida dan pestisida.
- ✓ Makanan yang lebih tahan dan matang untuk tinggal lebih lama sehingga mereka dapat dikirim jauh atau disimpan lebih lama

2) ***Kerugian Akibat Penggunaan Tanaman Transgenik***

Sejak ditemukannya tanaman transgenik, masyarakat mulai khawatir akan akibat yang sangat berpotensi membahayakan kesehatan manusia dan lingkungan. Pada era ini dimana banyak orang menganggap sesuatu yang “alami” hampir sama dengan keaamanan, anggapan tersebut menyebabkan tanaman transgenik tersebut dianggap sebagai tanaman yang tidak alami dan pasti akan menimbulkan bahaya. Para aktifis lingkungan gencar memprotes perusahaan-perusahaan yang memproduksi tanaman yang dimodifikasi secara genetik. Tanaman rekayasa genetika atau dikenal pada istilah asingnya *Genetically Modified Organism (GMO)*, saat ini sudah lebih jauh tujuannya yaitu untuk menciptakan spesies tanaman yang super. Hal ini memang sangat kontroversial sekali karena ini dianggap dan dikhawatirkan bisa mengganggu keseimbangan ekologi pada kehidupan alam dan lingkungan, terutama terhadap makhluk hidup disekitar tanaman tersebut dibudidaya.

Genetically Modified Organism (GMO), disamping dikhawatirkan bisa merusak keseimbangan ekosistem juga telah dinyatakan oleh beberapa Negara, berbahaya apabila dikonsumsi manusia dan akan mempengaruhi kesehatan. Yang dikhawatirkan dari produk Transgenik ini adalah munculnya zat protein tertentu yang bisa memicu alergi ataupun jenis jenis zat lain hasil dari kontaminasi pada waktu penyerbukan.

Pada masyarakat Uni Eropa, Eropa Timur, Jepang, Korea, Taiwan, Australia, Singapura, dan Negara Timur Tengah telah menetapkan standar dan analisis keamanan terhadap produk import pangan Transgenik. Negara Negara tersebut mewajibkan untuk melakukan perlabelan terhadap produk Transgenik. Bahkan kabarnya produk Transgenik tidak populer bahkan tidak laku di Negara tersebut karena dianggap tidak sehat bahkan ada yang menjuluki dengan sebutan *Frankenfood*.

Kekhawatiran terhadap produk GMO memunculkan “Surat Terbuka Ilmuwan Dunia kepada Seluruh Pemerintah Dunia”. Surat tertanggal 21 Oktober 1999 itu ditandatangani 136 ilmuwan dari 27 negara. Isinya, antara lain meminta penghentian segera seluruh pelepasan tanaman rekayasa genetika (*Genetically*

Modified Crops) dan juga produk rekayasa gen (*Genetically Modified Products*). Alasannya, tanaman GMO tidak memberikan keuntungan. Hasil panennya secara signifikan rendah dan butuh lebih banyak herbisida. Makin memperkuat monopoli perusahaan atas bahan pangan dan memiskinkan petani kecil. Mencegah perubahan mendasar pada upaya pertanian berkelanjutan yang dapat menjamin keamanan pangan dan kesehatan dunia.

Beberapa resiko kerugian akibat penggunaan tanaman transgenik (Kompas Edisi Januari 2000), sebagai berikut:

- a) Timbulnya alergi baru: Manipulasi genetik sering memanfaatkan protein dari organisme yang tidak pernah dimakan. Padahal diketahui banyak penyebab alergi berasal dari protein. misalnya pada kedelai transgenik yang diintroduksi dengan gen penghasil protein metionin dari tanaman brazil nut, diduga menimbulkan alergi terhadap manusia.
- b) Resistensi antibiotik: Gen yang resisten terhadap antibiotik yang sering digunakan sebagai penanda untuk menyeleksi sel-sel transgenik, mungkin saja pindah ke manusia atau organisme lain yang bisa menimbulkan masalah kesehatan,
- c) Virus baru: Gen virus pada tanaman untuk membuatnya tahan terhadap serangan virus, bisa saja bergabung dengan mikroba baru yang menginfeksi tumbuhan itu, sehingga bisa menghasilkan hibrid baru yang lebih ganas,
- d) Gulma baru : Pada lingkungan yang lebih luas, mungkin saja gen tahan herbisida yang diintroduksi ke tanaman pindah melalui serbuk sari yang menyerbuki gulma sekitarnya. Muncullah gulma super yang sulit ditangani dan menghancurkan ekosistem,
- e) Hama resisten: Pemaparan terus-menerus dari tanaman yang bisa menghasilkan pestisida sendiri bisa menyebabkan hama menjadi kebal dan membuat racun pestisida itu akhirnya tidak efektif.

Dampak negatif dari penggunaan tanaman transgenik ditinjau dari berbagai aspek, antarlain meliputi:

➤ Aspek sosial

Aspek sosial yang meliputi: Aspek ekonomi

Berbagai komoditas pertanian hasil rekayasa genetika telah memberikan ancaman persaingan serius terhadap komoditas serupa yang dihasilkan secara konvensional. Penggunaan tebu transgenik mampu menghasilkan gula dengan derajat kemanisan jauh lebih tinggi daripada gula dari tebu atau bit biasa.

➤ Aspek kesehatan

a) Potensi toksisitas bahan pangan.

Dengan terjadinya transfer genetik di dalam tubuh organisme transgenik akan muncul bahan kimia baru yang berpotensi menimbulkan pengaruh toksisitas pada bahan pangan. Sebagai contoh, transfer gen tertentu dari ikan ke dalam tomat, yang tidak pernah berlangsung secara alami, berpotensi menimbulkan risiko toksisitas yang membahayakan kesehatan.

b) Potensi menimbulkan penyakit/gangguan kesehatan

WHO pada tahun 1996 menyatakan bahwa munculnya berbagai jenis bahan kimia baru, baik yang terdapat di dalam organisme transgenik maupun produknya, berpotensi menimbulkan penyakit baru atau pun menjadi faktor pemicu bagi penyakit lain. Sebagai contoh, gen *aad* yang terdapat di dalam kapas transgenik dapat berpindah ke bakteri penyebab kencing nanah (GO), *Neisseria gonorrhoeae*.

➤ Aspek lingkungan

a) Potensi erosi plasma nutfah

Penggunaan tembakau transgenik telah memupus kebanggaan Indonesia akan tembakau Deli yang telah ditanam sejak tahun 1864. Tidak hanya plasma nutfah tanaman, plasma nutfah hewan pun mengalami ancaman erosi serupa. Sebagai contoh, dikembangkannya tanaman transgenik yang mempunyai gen dengan efek pestisida, misalnya jagung Bt, ternyata dapat menyebabkan kematian larva spesies kupu-kupu raja (*Danaus plexippus*) sehingga dikhawatirkan akan menimbulkan gangguan keseimbangan ekosistem akibat musnahnya plasma nutfah kupu-kupu tersebut.

b) Potensi pergeseran gen

Daun tanaman tomat transgenik yang resisten terhadap serangga Lepidoptera setelah 10 tahun ternyata mempunyai akar yang dapat mematikan mikroorganisme dan organisme tanah, misalnya cacing tanah.

c) Potensi pergeseran ekologi

Organisme transgenik dapat pula mengalami pergeseran ekologi. Organisme yang pada mulanya tidak tahan terhadap suhu tinggi, asam atau garam, serta tidak dapat memecah selulosa atau lignin, setelah direkayasa berubah menjadi tahan terhadap faktor-faktor lingkungan tersebut.

f. Regulasi Pengembangan dan Pemanfaatan Produk Bioteknologi Tanaman Transgenik

Pengembangan tanaman transgenik pada awalnya tidak membutuhkan adanya regulasi. Namun dengan semakin intensifnya pengembangan dan pemanfaatan tanaman transgenik maka diperlukan regulasi yang mengatur pemanfaatan, pengembangan, dan perdagangan produk transgenik. Regulasi pemanfaatan produk bioteknologi pertanian menyangkut dua hal, yaitu keamanan pangan (*food safety*) dan keamanan hayati (*biosafety*).

Food safety. Regulasi mengenai *food safety* beragam antar negara. Di Eropa dimana banyak terjadi lalu lintas bahan pangan, sebagian besar negara disana memberlakukan standar yang sesuai dan mendukung Codex Alimentarius, suatu perjanjian internasional lebih dari 100 negara. Codex dikelola bersama oleh FAO dan WHO dan bertujuan untuk melindungi kesehatan konsumen dan menjamin perdagangan yang adil dalam perdagangan bahan pangan.

Di Amerika Serikat, tanggung jawab untuk menjamin keamanan pangan berada pada FDA yang terutama menyangkut kontaminasi bakteri, mikotoksin, bahan kimia dan pestisida. Untuk pangan produk bioteknologi, FDA memberlakukan notifikasi pre-market yang menunjukkan keamanan produk pangan bioteknologi. Tanaman transgenik harus memenuhi syarat “kesetaraan substansi” (*substantial equivalen*) dengan bukan tanaman transgenik. Tanaman tersebut juga harus mendapat persetujuan dari USDA untuk dibudidayakan. FDA dapat menarik pangan dan produk pangan yang tidak memenuhi kriteria tersebut.

Biosafety. Di Amerika Serikat, dua lembaga bertanggung jawab secara bersama-sama terhadap keamanan lingkungan dari tanaman transgenik, yaitu EPA yang bertanggung jawab terhadap senyawa pestisida dan USDA terhadap benih. Badan Karantina Amerika (*Animal and Plant Health Inspection Service* = APHIS) bertanggung jawab pada pengujian lapangan, perpindahan dan impor GMO. Peran EPA terhadap produk bioteknologi terfokus pada tanaman transgenik yang “menghasilkan pestisida” seperti *Bt-cotton*. EPA tidak memiliki wewenang untuk memberikan registrasi tanaman transgenik yang tidak terkait dengan pestisida, misalnya tanaman yang tahan kekeringan.

Pemanfaatan SDG. Perjanjian pertama yang mengatur pemanfaatan SDG dalam bidang pangan dan pertanian adalah *International Undertaking on Plant Genetic Resources* (IUPGR) yang ditetapkan oleh FAO. Dua hal utama yang diatur dalam IUPGR adalah : (1) SDG dalam bidang pertanian harus dapat dimanfaatkan untuk pemuliaan varietas dan penelitian dan (2) mendukung akses SDG antar negara.

Terkait dengan pemanfaatan sumberdaya genetik (SDG) sebagai bahan dasar dalam bioteknologi, diberlakukan beberapa peraturan. Salah satunya adalah perjanjian mengenai keragaman hayati (*Convention on Biological Diversity* = CBD) yang diberlakukan tahun 1992 pada konferensi tinggi negara-negara di Rio de Janeiro.

CBD mengatur tiga hal utama, yaitu :

- 1) Pelestarian keragaman hayati,
- 2) Pemanfaatan sumberdaya hayati secara berkelanjutan, dan
- 3) Pembagian keuntungan yang jujur dan adil dari penggunaan SDG. CBD juga mengatur mengenai hak kepemilikan SDG (plasma nutfah).

3. Rangkuman

- ✓ Tanaman transgenik adalah tanaman yang telah direkayasa bentuk maupun kualitasnya melalui penyisipan gen atau DNA mikroba, seperti: bakteri, jamur, virus untuk tujuan tertentu.
- ✓ Transgenik artinya adalah memiliki materi genetik (DNA) dari organisme lain, dapat pula disebut sebagai *Genetically Modified Organism* (organisme yang

termodifikasi secara genetik). Penggabungan gen asing ini mempunyai tujuan untuk mendapatkan tanaman dengan sifat-sifat yang diinginkan, misalnya pembuatan tanaman yang memiliki daya produksi tinggi, kualitas nutrisi tinggi, daya tahan yang tinggi terhadap penyakit dan cekaman lingkungan, serta kebutuhan yang rendah akan pupuk dan bahan kimia lain.

- ✓ Tahapan Pembuatan tanaman transgenik antara lain: 1) Identifikasi atau pencarian gen, 2) Kloning gen, 3) Perbanyak DNA, 4) Transfer gen, 5) Multifikasi dan Regenerasi.
- ✓ Tanaman transgenik masih menjadi pro dan kontra di masyarakat. Masyarakat yang pro pada penggunaan tanaman transgenik terutama melihat pada potensi pemanfaatan tanaman transgenik untuk mengatasi krisis pangan, dan cenderung berpendapat penggunaan transgenik tidak berbahaya, sedangkan pada masyarakat yang kontra terhadap penggunaan transgenik karena mengkhawatirkan dampak yang ditimbulkan konsumsi tanaman transgenik terhadap kesehatan dan lingkungan.
- ✓ Regulasi pemanfaatan produk bioteknologi berupa tanaman transgenik menyangkut dua hal, yaitu keamanan pangan (*food safety*) dan keamanan hayati (*biosafety*).

4. Soal Latihan

- 1) Sebutkan dan berikan penjelasan tentang tahapan Pembuatan tanaman transgenik?
- 2) Sebutkan beberapa keterbatasan transformasi menggunakan partikel bombardment dibandingkan Agrobacterium?
- 3) Jelaskan pro dan kontra masyarakat mengenai penggunaan tanaman transgenik?

5. Kunci Jawaban

- 1) Tahapan Pembuatan tanaman transgenik antara lain:
 - Identifikasi atau pencarian gen
Identifikasi atau pencarian gen yang akan menghasilkan sifat tertentu (sifat

yang diinginkan). Gen yang diinginkan dapat diambil dari tanaman lain/ hewan/ cendawan/ atau bakteri.

➤ Kloning gen

Setelah gen yang diinginkan didapat maka dilakukan perbanyakan gen yang disebut dengan istilah kloning gen. Pada tahapan kloning gen, DNA asing akan dimasukkan ke dalam vektor kloning (agen pembawa DNA), contohnya plasmid (DNA yang digunakan untuk transfer gen).

➤ Perbanyakan DNA

Vektor kloning akan dimasukkan ke dalam bakteri sehingga DNA dapat diperbanyak seiring dengan perkembangbiakan bakteri tersebut.

➤ Transfer gen

Apabila gen yang diinginkan telah diperbanyak dalam jumlah yang cukup maka akan dilakukan transfer gen asing tersebut ke dalam sel tumbuhan yang berasal dari bagian tertentu. Salah satunya adalah bagian daun.

2) Beberapa keterbatasan transformasi menggunakan partikel bombardment dibandingkan *Agrobacterium*, antarlain:

- a) Harga alat dan perlengkapannya cukup mahal
- b) Penembusan partikel ke dalam jaringan cukup dangkal
- c) Daerah penembusan DNA plasmid ke dalam jaringan target cukup luas sehingga DNA yang ditransfer ke dalam sel acak. Beberapa sel yang tidak mengekspresikan transgen, akan mati jika ditumbuhkan dalam medium kultur kusus
- d) Seringkali terjadi penggabungan salinan ganda transgen pada sisi tunggal penyisipan, penyusunan ulang gen yang menyisip dan penggabungan transgen pada sisi penyisipan ganda. Salinan ganda dapat menyebabkan hilangnya transgen pada keturunan berikutnya.

3) Masyarakat yang pro pada penggunaan tanaman transgenik terutama melihat pada potensi pemanfaatan tanaman transgenik untuk mengatasi krisis pangan, dan cenderung berpendapat penggunaan transgenik tidak berbahaya. Sedangkan pada masyarakat yang kontra terhadap penggunaan

transgenik karena mengkhawatirkan dampak yang ditimbulkan konsumsi tanaman transgenik terhadap kesehatan dan lingkungan. Hal ini terjadi karena tanaman transgenik belum dievaluasi penggunaannya secara mendetail dalam jangka panjang sebelum dilepaskan ke pasaran.

6. Sumber Informasi dan Referensi

Agbios GM Data Base. 2007. Budidaya jagung. <http://www.agbios.com/dbase.php> [diakses 4 Agustus 2019]

Ahloowalia, B.S., J. Prakash, V.A. Savangikar, and C. Savangikar. 2004. Plant Tissue Culture. Proceedings of a Technical Meeting. FAO/IAEA Division of Nuclear Techniques in Food and Agriculture. Viena. P 3-9.

Amirhusin, Bahagiawati. 2004. *Perakitan Tanaman Transgenik Tahan Hama*. Bogor: Jurnal Litbang Pertanian

Amirhusin, Bahagiawati. 2004. *Penggunaan Bacillus thuringiensis sebagai Bioinsektisida*. Bogor : Buletin AgroBio

Anonim.2001.Tanaman Transgenik dan UU Varietas Tanaman: Kontroversi Tiada Akhir.<http://www.sinarharapan.co.id/berita/0111/26/ipt01.html>. Tanggal akses: diakses 4 Agustus 2019.

Antonius Suwanto. "Tanaman Transgenik: Bagaimana Kita Menyikapinya ?". BB-Biogen Bogor. Diakses 8 Juli 2019.

Cahyadi, F. 2006.Dampak Lingkungan Tanaman Transgenik.<http://www.satudunia.net/node/1178>. Tanggalakses: diakses 4 Agustus 2019

Caponetti J.D, D.J. Gray, and R.N. Trigiano. 2000. History of plant tissue and cell culture, p. 11-17. In R.N. Trigiano and D.J. Gray (Eds.). Plant Tissue Culture Concept and Laboratory Exercise Second Edition. CRC Press. New York.

Darmasiwi, S. 2007.Amankah Mengkonsumsi Tanaman Transgenik?<http://id.shvoong.com/exact-sciences/biology/1626834-amankah-mengkonsumsi-tanaman-transgenik/>. diakses 4 Agustus 2019.

David P. Clark, Nanette Jean Pazdernik (2008). *Biotechnology: applying the genetic revolution*. Academic Press. ISBN 978-0-12-175552-2. Page.414.

- Fitch, M.M.M., R.M. Manshardt, and D. Gonsalves. 1990. Stable transformation of papaya via microprojectile bombardment. *Plant Cell Rep.* 9:189-194.
- Fuller, G. 1999. Safety assessment of genetically modified corn: a case study. Regional Symposium on Genetically Modified Foods: Benefits and Awareness. Bangkok, March 17-18, 1999.
- Griffiths dkk, *An Introduction to genetic analysis*, New York: W.H. Freeman (1996).
- Gunawan, L.W. 1992. Teknik Kultur Jaringan Tumbuhan. Pusat Antar Universitas Bioteknologi Institut Pertanian Bogor. Bogor. 158 hal.
- Gusyana, Dadang.. 2002. *Seberapa Aman Produk Bioteknologi?* , (online), (<http://www.beritabumi.or.id/berita3.php?idberita=148>, diakses 4 Agustus 2019).
- Herman, M. 2002. Perakitan tanaman tahan serangga hama melalui teknik rekayasa genetik. *Buletin AgroBio* 5(1): 1-13.
- Irawan, A. 2006. Ancaman dan Harapan Dari Komoditas Transgenik. *KORAN TEMPO* Edisi 2006-08-06. Jaya, H. 2008. Bahayakah Tumbuhan Transgenik. http://hendra-jaya.blogspot.com/2008_01_13_archive.html. Tanggal akses diakses 4 Agustus 2019.
- Jeff Schahczenski, Katherine Adam (2006). "Transgenic Crops". ATTRA. Diakses 8 Juli 2019.
- Kirsi-Marja Oksman-Caldentey, Wolfgang Barz (2002). *Plant biotechnology and transgenic plants*. CRC Press. ISBN 978-0-8247-0794-1. Page.204-205
- Krisno, Agus. 2011. Rekayasa Genetika Bakteri *Bacillus thuringiensis* Dalam Perakitan Tanaman Transgenik Tahan Hama. <http://aguskrisnoblog.wordpress.com>. Diakses pada tanggal 05 September 2019 pukul 11:04 WIB.
- Lai Chuo-Chun, Shyi-Dong Yeh, and Jiu-Sherng Yang. 2000. Enhancement of papaya axillary shoot proliferation in vitro by controlling the available ethylene. *Botanical Bull.f Acad. Sinica* 41:203-212.
- McLean, M.A. and D.J. MacKenzie. 2001. Principles and practice of environmental safety assessment of transgenic plants. Materials presented for Food Safety and Environmental Assessment Workshop. Bogor, April 10-12, 2001.

-
- Muladno. 2002. *Seputar Teknologi Rekayasa Genetika*. Bogor: Pustaka Wirausaha Muda.
- Murashige, T. dan F. Skoog. 1962. A revised medium for rapid growth and bioassay with tobacco tissue culture. *Plant Physiol.* 15:473-497.
- Ollitrault, P., V. Allent, and F. Luro. 1996. Production of haploid embryogenic calli of clementine (*Citrus reticulata* Blanco) after in situ parthenogenesis induction by irradiated pollen. *Proc. Int. Soc. Citriculture.* p. 913-917
- P. Bayer, S. Al-Babili, X. Ye, P. Lucca, P. Schaub, R. Welsch, dan I. Potrykus. *Golden Rice: Introducing the-Carotene Biosynthesis Pathway into Rice, Endosperm by Genetic Engineering to Defeat Vitamin A Deficiency*, *J. Nutr.* March 1, 2002, vol. 132 no. 3, 506S-510S.
- Prahardini, P.E.R. dan T. Sudaryono. 1992. Pengaruh kombinasi asam naftalenasetat dan benzyl adenine terhadap kultur pepaya kultivar dampit secara in vitro. *Jurnal Hortikultura* 2(4):6-12.
- Prabowo, Radhian Ardy. 2010. *Makalah Pengantar Bioteknologi Dalam Proteksi Tanaman (PTN 403); Jagung Transgenik yang Mengandung Gen Bt*. Bogor: Departemen Proteksi Tanaman Fakultas Pertanian Institut Pertanian Bogor
- Rajiv Tyagi, P.R. Yadav (2008). *Biotechnology of Plant Tissue*. Educa Books. ISBN 978-81-8356-073-3. Page.202-204.
- Raven dkk, *Biology*, 7th Edition, New York: McGraw Hill Higher Education (2005).
- Ritchie, S.W. and T.K. Hodges. 1993. Cell culture and regeneration of transgenic plants. In Kung, S.D. (Ed.). *Transgenic Plant I*:147-173.
- Susiyanti, 2003. Pro dan Kontra Tanaman Transgenik. http://tumoutou.net/702_07134/susiyanti.htm. Tanggal akses: diakses 4 Agustus 2019.
- Suwanto, A. 2000. Menyikapi Tanaman Transgenik. <http://www2.kompas.com/kompascetak/0002/04/IPTEK/meny09.htm>. Tanggal akses: diakses 4 Agustus 2019.
- Wattimena, L.W. Gunawan, N.A. Mattjik, E. Syamsudin, N.M.A. Wiendi, dan A. Ermawati. 1992. *Bioteknologi Tanaman*. Laboratorium Kultur jaringan

Tanaman. Departemen Pendidikan dan Kebudayaan. Direktorat Jendral Pendidikan Tinggi. PAU Bioteknologi. IPB. Bogor. 309 hal.

C. Penilaian

- 1. Sikap** : keikutsertaan dan partisipasi aktif dalam diskusi.
- 2. Pengetahuan** : kemampuan menjawab pertanyaan dengan benar soal latihan.
- 3. Keterampilan** : melaksanakan penerapan tanaman transgenik.

Kegiatan Pembelajaran 7 :

7. Aplikasi Bioteknologi Pertanian dalam Bidang Industri

A. Deskripsi

Bioteknologi merupakan bidang penerapan biosains dan teknologi yang menyangkut penerapan praktis organisme hidup atau komponen subselulernya pada industri jasa dan manufaktur serta pengelolaan lingkungan. Atau dapat pula di definisikan sebagai teknologi yang menggunakan sistem hayati (proses-proses biologi) untuk mendapatkan barang dan jasa yang berguna bagi kesejahteraan manusia. Bioteknologi memanfaatkan: bakteri, ragi, kapang, alga, sel tumbuhan atau sel hewan yang dibiakkan sebagai konstituen berbagai proses industri. (Sutarno, 2016).

Kemajuan-kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi yang telah ada baik di bidang fisika, kimia, matematika dan biologi telah memicu majunya bioteknologi. Selain itu, banyak hal yang juga ikut berperan dalam memicu lahirnya bioteknologi, diantaranya adalah karena semakin besar tuntutan untuk mencapai target yang diinginkan dengan proses yang lebih cepat dan terobosan yang inovatif yang bisa menguntungkan bagi umat manusia. Bioteknologi juga memiliki peran penting dalam ilmu pengetahuan dewasa ini, bioteknologi sendiri mengalami berbagai pembaruan dari bioteknologi yang bersifat tradisional kearah bioteknologi yang modern. Manfaat bioteknologi bagi kehidupan manusia dalam meningkatkan kesejahteraan dan perbaikan hidup telah terbukti, antara lain penerapannya untuk memerangi kelaparan, mengatasi kelangkaan

sumber daya energi, mengurangi pencemaran lingkungan dan masih banyak lagi. (Sutarno, 2016). Telah banyak industri-industri yang menggunakan bantuan bioteknologi dalam pembuatan dan pengembangan produk yang dihasilkannya, mulai dari industri pertanian, industri farmasi dan industri bidang energi. Pada bab ini akan dipelajari secara khusus aplikasi bioteknologi dalam bidang industri pertanian.

B. Kegiatan Pembelajaran

1. Tujuan Pembelajaran

Tujuan dapat mengetahui aplikasi dan produk-produk yang dihasilkan bioteknologi pertanian dalam bidang industri.

2. Uraian Materi

Bioteknologi pada zaman dahulu dianalogikan dengan industri mikrobiologi (industri yang berbasis pada peran agen-agen mikroba). Tetapi perkembangan selanjutnya, tanaman dan hewan juga dieksploitasi secara komersial. Bioteknologi yang sedang berkembang pada masa kini adalah bioteknologi modern dengan menggunakan teknologi rekombinasi DNA dengan teknik tertentu untuk memotong, menyisipkan, maupun menyusun kembali fragmen-fragmen DNA (Faridah dan Sari. 2019). Dengan demikian, “payung” bioteknologi sangatlah luas mencakup semua teknik untuk menghasilkan barang dan jasa dengan memanfaatkan sistem biologi atau sel hidup. Dalam perkembangannya bioteknologi memiliki beberapa jenis atau cabang ilmu yang diasosikan dengan warna, yaitu:

1) Bioteknologi merah (*red biotechnology*)

adalah cabang ilmu bioteknologi yang mempelajari aplikasi bioteknologi di bidang medis. Cakupannya meliputi seluruh spektrum pengobatan manusia, mulai dari tahap preventif, diagnosis, dan pengobatan. Contoh penerapannya adalah pemanfaatan organisme untuk menghasilkan obat dan vaksin, penggunaan sel punca untuk pengobatan regeneratif, serta terapi gen untuk mengobati penyakit genetik dengan cara menyisipkan atau menggantikan gen abnormal dengan gen yang normal.

2) Bioteknologi putih/abu-abu (*white/gray biotechnology*)

adalah bioteknologi yang diaplikasikan dalam industri seperti pengembangan dan produksi senyawa baru serta pembuatan sumber energi terbarukan. Dengan memanipulasi mikroorganisme seperti bakteri dan khamir atau ragi, enzim-enzim dan organisme-organisme yang lebih baik telah tercipta untuk memudahkan proses produksi dan pengolahan limbah industri. Pelindian (*bleaching*) minyak dan mineral dari tanah untuk meningkatkan efisiensi pertambangan, dan pembuatan bir dengan khamir.

3) Bioteknologi hijau (*green biotechnology*)

Mempelajari aplikasi bioteknologi di bidang pertanian dan peternakan. Di bidang pertanian, bioteknologi telah berperan dalam menghasilkan tanaman tahan hama, bahan pangan dengan kandungan gizi lebih tinggi dan tanaman yang menghasilkan obat atau senyawa yang bermanfaat. Sementara itu, di bidang peternakan, binatang-binatang telah digunakan sebagai “bioreaktor” untuk menghasilkan produk penting contohnya kambing, sapi, domba, dan ayam telah digunakan sebagai penghasil antibodi-protein protektif yang membantu sel tubuh mengenali dan melawan senyawa asing (antigen).

4) Bioteknologi biru (*blue biotechnology*)

Bioteknologi biru (*blue biotechnology*) disebut juga bioteknologi akuatik atau perairan yang mengendalikan proses-proses yang terjadi di lingkungan akuatik. Salah satu contoh yang paling tua adalah akuakultura, menumbuhkan ikan bersirip atau kerang-kerangan dalam kondisi terkontrol sebagai sumber makanan, (diperkirakan 30% ikan yang dikonsumsi di seluruh dunia dihasilkan oleh akuakultura). Perkembangan bioteknologi akuatik termasuk rekayasa genetika untuk menghasilkan tiram tahan penyakit dan vaksin untuk melawan virus yang menyerang salmon dan ikan yang lain. Contoh lainnya adalah salmon transgenik yang memiliki hormon pertumbuhan secara berlebihan sehingga menghasilkan tingkat pertumbuhan sangat tinggi dalam waktu yang singkat. (Ahmad, 2014).

Bioteknologi industri adalah aplikasi bioteknologi untuk memenuhi tujuan aktivitas industri, termasuk manufaktur, bioenergi, dan biomaterial. Selain itu

bioteknologi industri mencakup penggunaan sel dan komponen sel seperti organel dan enzim untuk menghasilkan produk. Berdasarkan klasifikasi yang diberikan Biotechnology Industry Organization, terdapat tiga tahap industrialisasi bioteknologi. Tahap pertama adalah bioteknologi hijau yang pertama kali berkembang dalam bentuk industri pertanian. Tahap kedua yaitu industri farmasi dan bioteknologi kedokteran. Dan tahap ketiga adalah bioteknologi industri di mana bioteknologi diindustrialisasikan secara besar-besaran di semua sektor industri, terutama di bidang energi (bioenergi) dan bioproses.

Aplikasi bioteknologi dalam industri pertanian dapat mencakup seluruh aktivitas dalam sistem agribisnis mulai dari hulu hingga hilir diantaranya sarana produksi pertanian dan pengolahan hasil pertanian.

a. Industri Pengadaan Sarana Produksi Pertanian

Sarana produksi pertanian adalah segala bahan yang digunakan dalam proses pertanian yang terdiri dari benih, pupuk, obat-obatan hama dan penyakit, yang dihasilkan oleh industri sebagai modal kegiatan pertanian.

1) Benih Hasil Rekayasa Genetik

Benih merupakan biji tanaman yang telah mengalami perlakuan sehingga dapat digunakan dalam perbanyakan tanaman. Benih memiliki peran yang sangat penting dalam pertumbuhan dan produksi suatu tanaman. Sejauh ini produksi pertanian dari para petani di Indonesia masih perlu ditingkatkan. Untuk itu, sangat penting para petani memanfaatkan bioteknologi untuk meningkatkan hasil pertanian yang dilakukan secara modern. Hal yang dapat dilakukan yaitu dengan penggunaan benih-benih unggul hasil rekayasa genetik. Telah banyak peneliti yang melakukan rekayasa genetik pada tanaman melalui kultur jaringan maupun sistem transgenik, sehingga didapatkan benih tanaman yang unggul (Johannis, 2017).

Benih tanaman yang memiliki gen asing dari spesies tanaman yang berbeda atau makhluk hidup lain memiliki tujuan untuk mendapatkan sifat-sifat yang diinginkan, seperti tahan kekeringan, resisten terhadap organisme pengganggu

tanaman, kuantitas dan kualitas hasil yang lebih tinggi dari tanaman alami. Produk Rekayasa Genetik yang selanjutnya disingkat PRG adalah organisme hidup, bagian bagiannya dan/atau hasil olahannya yang mempunyai susunan genetik baru dari hasil penerapan bioteknologi modern. Produk Rekayasa Genetik atau secara luas disebut transgenik yang dalam istilah internasional sebagai *Genetic Modified Organism (GMO)* menjadi salah satu hasil terobosan penerapan bioteknologi untuk memacu produksi pangan (BBPPMBTPH, 2017).

Teknik pembuatan tanaman transgenik dilakukan dengan perakitan tanaman transgenik yang diawali penelitian dan pengembangan transformasi tanaman. Transformasi merupakan tahap introduksi gen asing ke sel organisme (*Gene transfer technologies*). Terdapat dua fase kritis pada transformasi tanaman yaitu masuknya gen ke sel (*transformasi*) dan menumbuhkan sel menjadi tanaman (*regeneration/tissue culture*). Tahap selanjutnya adalah verifikasi hasil transformasi pada tanaman (*plant transformation technologies verification*; Little et al., dalam BBPPMBTPH, 2017) yang dapat menggunakan metode *PCR*, *Southern analysis* dan *Mendelian inheritance transfer to next generatio*.

Prosedur tahap pengembangan dan pelepasan tanaman PRG yang akan beredar secara komersial di masyarakat meliputi pengembangan aspek tanaman PRG dalam lingkup laboratorium, bila dinyatakan aman berlanjut pengembangan penelitian dan pengkajian di rumah kaca, bila dinyatakan aman berlanjut pengembangan penelitian di lapangan yang terbatas dan bila dinyatakan aman berlanjut pengembangan pengkajian data-data untuk keamanan dalam rangka pelepasan tanaman PRG yang ditangani oleh lembaga tertentu. Jika persyaratan PRG yang dilepas telah dipenuhi maka akan terbit legalisasi pelepasan PRG dalam bentuk sertifikat.

Status pengembangan tanaman PRG di Indonesia, kebanyakan galur yang di uji di Fasilitas Uji Terbatas /Lapang Uji Terbatas tidak berakhir dengan pelepasan komersialisasi diantaranya padi, tomat, kentang tebu, akasia, coklat, kopi, karet, tebu. Berikut ini adalah beberapa contoh spesies tanaman transgenik yang telah dikembangkan.

Tabel 4. Spesies Tanaman Transgenik yang Telah dikembangkan

Spesies tanaman	Gen yang disisipkan	Asal gen	Karakterbaru yang diperoleh
<i>Oryza sativa</i> (<i>Golden rice</i>)	Gen pengkode: Phyton synthase Lysopene cyclase Phytoene desaturase	Daffodil Daffodil <i>Erwinia carotovora</i>	Produksi provitamin A (β -karoten) pada endosperm
<i>Oryza sativa</i>	Gen phosphinothricin N-acetyltransferase	<i>Streptomyces Hygroscopicus</i>	Toleransi terhadap herbisida phosphinothricin, khusus nya glufosinate amonium
<i>Lycopersicum esculentum</i>	Gen pengkode S-ade Nosylmethionine hydrolase	Bakteriofag T3	Penundaan pemasakan karena biosintesis etilen ber-Kurang
<i>Zea mays</i>	Gen pengkode toksin CryIAb	<i>B. thuringiensis</i> subsp. <i>Kurstaki</i>	Resisten terhadap pengerek Batang <i>Ostrinia subilalis</i>
<i>Carica papaya</i>	Gen pengkode coat protein <i>Papaya Ring-spot Virus</i> (PRSV)	<i>Papaya Ringspot Virus</i>	Resisten terhadap PRSV
<i>Glycine max</i> L.	Gen pengkode δ -12 Desaturase (<i>fad 2</i>)	Kedelai	Akumulasi as.lemak oleat →as.lemak tak jenuh

2) Pupuk Organik dengan Biofertilizer

Pupuk adalah suatu bahan yang mengandung satu atau lebih unsur hara atau nutrisi bagi tanaman untuk menopang tumbuh dan berkembangnya tanaman. Unsur hara yang diperlukan oleh tanaman adalah: C, H, O (ketersediaan di alam melimpah), N, P, K, Ca, Mg, S (hara makro), dan Fe, Mn, Cu, Zn, Cl, Mo, B (hara mikro) (Purwanto, 2015).

Peningkatan mutu intensifikasi selama tiga dasawarsa terakhir, telah melahirkan petani yang mempunyai ketergantungan pada pupuk yang menyebabkan

terjadinya kejenuhan produksi pada daerah-daerah pertanian. Keadaan ini selain menimbulkan pemborosan juga menimbulkan berbagai dampak negatif khususnya pencemaran lingkungan. Oleh karena itu perlu upaya perbaikan agar penggunaan pupuk dapat dilakukan seefisien mungkin dan ramah lingkungan (LIPI, 2018).

Upaya yang dapat dilakukan yaitu dengan mengurangi penggunaan pupuk anorganik dan peningkatan penggunaan pupuk organik hasil bioteknologi. Beberapa penelitian yang menyangkut efisiensi penggunaan pupuk, khususnya yang dilakukan oleh kelompok peneliti bioteknologi pada beberapa tahun terakhir, sangat mendukung upaya penghematan penggunaan pupuk kimia. Upaya tersebut dilakukan melalui pendekatan peningkatan daya dukung tanah dan/atau peningkatan efisiensi produk pupuk dengan menggunakan mikroorganisme. Penggunaan mikroorganisme pada pembuatan pupuk organik, selain meningkatkan efisiensi penggunaan pupuk, juga akan mengurangi dampak pencemaran air tanah dan lingkungan yang timbul akibat pemakaian pupuk kimia berlebihan (LIPI, 2018).

Biofertilizer adalah preparat yang mengandung mikroba hidup yang membantu untuk memperbaiki kesuburan tanah baik melalui pengikatan nitrogen dari atmosfer, pelarutan posphat, pelapukan limbah organik atau peningkatan pertumbuhan tanaman dengan memproduksi hormon karena aktivitas biologi mereka.

Biofertilizer dapat disusun oleh bakteri atau fungi. Bakteri yang berperan penting dalam biofertilizer adalah rizobakteri. Rizobakteri adalah Kelompok bakteri yang menguntungkan dengan manfaat diantaranya:

- a) Mengkolonisasi rizosfer (lapisan tanah disekitar perakaran).
- b) Mampu menyediakan dan memobilisasi atau memfasilitasi penyerapan berbagai unsur hara.
- c) Mampu mensintesis dan mengubah konsentrasi berbagai fitohormon pemacu tumbuh.

-
- d) Mampu menekan aktifitas patogen dengan cara menghasilkan berbagai senyawa atau metabolit seperti antibiotik dan siderophore (zat yang mampu mengikat Fe).

Terdapat beberapa jenis rhizobakteri yang telah dikomersialkan oleh industri-industri diantaranya:

- a) *Plant Growth Promoting Rhizobacteria* (PGPR) dengan jenis-jenis bakteri yaitu *Rhizobium*, *Azotobacter*, *Azospirillum*, *Bacillus*, *Arthrobacter*, *Bacterium*, *Mycobacterium*, dan *Pseudomonas*. Memiliki kemampuan memproduksi metabolit yang berperan sebagai fitohormon (auksin, giberelin, sitokinin, etilen, dan asam Absisat) dan antibiotik, siderofor, sianida, toxin (N-formilonine dan a paxiline) dan taxol (anti kanker).
- b) Pelarut Pospat dengan jenis-jenis bakteri yaitu *Pseudomonas*, *Microccus*, *Bacillus*, *Flavobacterium* mempunyai kemampuan dalam menghasilkan enzim fosfatase dan fitase dan asam-asam organik hasil metabolisme seperti asetat, propionat, glikolat, fumarat, oksalat, suksinat, dan tartrat, sitrat, laktat, dan ketoglutarat
- c) Pereduksi Sulfat dengan jenis-jenis bakteri yaitu *Desulfovibrio*, *Desulfotomaculum*, *Desulfosarcina*, dan *Desulfococcus*. mempunyai kemampuan memetabolisme senyawa sederhana, seperti laktat, asetat, propionat, butirrat, dan benzoat.

Selain bakteri, fungi tanah juga memiliki fungsi untuk menentukan status kesuburan dan kesehatan tanah. Terdapat dua jenis fungi tanah yang sering digunakan dan telah beredar luas dipasaran, diantaranya yaitu fungi *Trichoderma* dan fungi *Mikoriza*. Peran fungi *Trichoderma* dalam perpektif ilmu pertanian secara umum adalah menutrisi tanaman melalui persenyawaan hasil dekomposisi bahan organik tanah, menyediakan beberapa senyawa yang dapat diserap oleh tanaman sebagai zat perangsang tumbuh dan melindungi perakaran tanaman dari gangguan patogen penyebab penyakit. Sedangkan fungi *mikoriza* memiliki simbiosis mutualisme dengan perakaran tanaman yang membantu tanaman dalam penyerapan nutrisi langsung melalui epidermis akar dan akar rambut (Sutarman, 2016).

b. Biopestisida

Aplikasi pestisida kimia dalam kegiatan budidaya tanaman dapat mengganggu kesehatan manusia baik untuk petani pada saat mengaplikasikan pestisida dan dan bagi konsumen yang terdampak residu pestisida pada hasil panen. Dewasa ini telah berkembang biopestisida yang ramah lingkungan. Biopestisida merupakan salah satu komponen dalam pengelolaan hama dan penyakit. Biopestisida didefinisikan sebagai bahan yang berasal dari makhluk hidup (tanaman, hewan atau mikroorganisme) yang berkhasiat menghambat pertumbuhan dan perkembangan atau mematikan hama atau organisme penyebab penyakit (Sumartini, 2016).

Beberapa tanaman mengandung senyawa tertentu yang dapat dimanfaatkan sebagai antimikrobia, seperti cengkeh, mimba, lengkuas, bawang merah, dan lerak. Selain tanaman beberapa mikroba diketahui berperan sebagai antagonistik terhadap patogen seperti *Trichoderma* spp., *Pseudomonas fluorescens*, dan *Bacillus* spp. Efektivitas dari masing-masing bahan nabati dan hayati sebagai biopestisida bergantung kepada jenis penyakit sasaran dan faktor lingkungan. Salah satu jenis biopestisida yang dikembangkan adalah bioinsektisida.

Menurut Sastrosiswojo 2002 dalam Ahmad 2014 bioinsektisida atau insektisida hayati adalah suatu jenis insektisida yang berasal dari bahan alami, misalnya binatang, tanaman, bakteri, dan mineral tertentu. Bioinsektisida terdiri dari tiga kelompok sebagai berikut:

1) Insektisida Mikrobial

Insektisida mikrobial mengandung mikroorganisme sebagai bahan aktif (contohnya bakteri, fungi, virus, dan protozoa). Jenis insektisida mikrobial yang paling banyak digunakan adalah bakteri *Bacillus thuringiensis*, virus, dan fungi karena banyak menyerang serangga dengan tingkat penyebaran dan serangan lebih intensif dibanding kelompok mikroorganisme lain.

2) Insektisida Biokimia

Insektisida biokimia adalah bahan yang terjadi secara alami yang dapat mengendalikan hama dengan mekanisme non-toksik. Insektisida biokimia

mencakup bahan-bahan seperti feromon seks dan berbagai ekstrak tanaman yang memikat serangga hama kepada perangkap. Insektisida hayati tumbuhan atau insektisida nabati dimasukkan ke dalam kelompok insektisida biokimia karena mengandung biotoksin.

3) Insektisida Hayati Tumbuhan

Penggunaan insektisida hayati tumbuhan merupakan salah satu alternative pilihan. Secara alamiah nenek moyang telah mengembangkan insektisida hayati tumbuhan yang ada di lingkungan pemukiman. Nenek moyang memakai insektisida hayati atas dasar kebutuhan praktis dan disiapkan secara tradisional. Tradisi ini akhirnya hilang karena desakan teknologi yang tidak ramah lingkungan.

Pada saat ini bioinsektisida sudah banyak dikomersialkan oleh perusahaan-perusahaan. Sebagai contoh bioinsektisida berserta zat aktif yang dikandungnya dapat disajikan pada Tabel berikut.

Tabel 5. Perbandingan Jenis Bioinsektisida, Kandungan Zat Aktif Serta Sasarannya

Jenis	Nama	Zat Aktif	Sasaran
Jamur	<i>Metarhizium anisopliae</i> <i>Beauveria bassiana</i>	<i>Destruxin</i> Khitinase, lipase, protease	Coleoptera, Hemiptera Lepidoptera, Isoptera Lepidoptera
Bakteri	<i>Bacillus thuringiensis</i> <i>Bacillus cereus</i>	δ -endotoksin β -eksotoksin	Lepidoptera Lepidoptera
Virus	<i>Nuclearpolyhidrovirus</i> CARNA-5	Polihedra Satelit RNA	Lepidoptera CMV-G, TMV, dan PVY
Tanaman	<i>Swietenia mahogoni</i> <i>Melia azedarach</i>	<i>Flafanoid</i> dan <i>saponin</i> <i>Glikosida floveroid</i> , <i>azedirachtin</i> , <i>alkaloid</i> , dan <i>aglikom queresetin</i>	Lepidoptera Lepidoptera

Sumber : Yuningsih, 2016

Dari hasil-hasil penelitian yang telah dilakukan, bioinsektisida yang berbahan aktif bakteri *B. thuringiensis*, dan ekstrak tumbuhan cukup prospektif untuk dimanfaatkan sebagai alternatif dalam pengendalian hama pada hutan tanaman karena efektif, selektif, dan aman terhadap lingkungan.

c. Industri Pengolahan Hasil Pertanian

Produk pertanian dapat dibagi menjadi dua jenis yaitu produk hasil pertanian yang langsung didistribusikan kepada konsumen dan produk hasil pertanian yang harus melalui tahap pengolahan kemudian didistribusikan kepada konsumen. Oleh sebab itu terdapat banyak industri pengolahan hasil pertanian yang berkembang. Pelaku dalam subsistem ini adalah industri skala kecil maupun besar seperti industri olahan makanan/minuman, industri serat alam dan industri biofarmaka.

Terdapat banyak produk dari pengolahan hasil pertanian yang menerapkan bioteknologi dalam pelaksanaannya diantaranya.

1) Pengolahan Susu

a) Yoghurt

Pada saat proses pembuatan yoghurt, susu difermentasikan terlebih dahulu, lalu sebagian lemak yang ada dibuang. Bakteri yang digunakan dalam pembuatan yoghurt ada 2, yaitu *Streptococcus thermophilus* dan *Lactobacillus bulgaricus*. Fermentasi dari laktosa menghasilkan asam laktat yang bekerja pada protein susu sehingga membuat yoghurt lebih padat serta memiliki tekstur dan aroma yang khas. Cita rasa khas yoghurt ditentukan dari terbentuknya asam laktat, asetaldehid, asam asetat dan asetil. Keberadaan kedua bakteri tersebut sangat penting. Bakteri *Streptococcus thermophilus* membantu menciptakan kondisi lingkungan yang lebih baik bagi bakteri *Lactobacillusbulgaricus* untuk menghasilkan enzimnya. Sementara itu bakteri *Lactobacillus bulgaricus* menghasilkan asetaldehid sehingga cita rasa yang khas pada yoghurt dapat tercapai (Wahyu dalam Ahmad 2014).

b) Keju

Keju merupakan salah satu produk bioteknologi yang berasal dari penggumpalan protein susu. Produk keju dibuat melalui fermentasi dengan bantuan mikroorganisme berupa bakteri *Streptococcus thermophilus*, *Lactococcus lactis* dan *Leuconostoc mesenteroides* (Geantaresa dalam Farida dan Sari 2019). Bakteri atau mikroorganisme tersebut berfungsi dalam memfermentasikan laktosa yang ada pada susu menjadi asam laktat. Tahapan dalam pembuatan keju yaitu dengan memisahkan zat-zat padat dalam susu melalui proses pengentalan atau koagulasi. Proses pengentalan ini dilakukan dengan bantuan bakteri atau enzim tertentu yang disebut rennet. Hasil dari proses tersebut nantinya akan dikeringkan, diproses, dan diawetkan dengan berbagai macam cara. Susu dapat diproduksi menjadi berbagai variasi produk keju. Variasi tersebut ditentukan dari tipe susu, metode pengentalan, temperatur, metode pemotongan, pengeringan, pemanasan, juga proses pematangan keju dan pengawetan.

c) Mentega

Pada saat proses pembuatan mentega jenis mikroorganisme yang digunakan yaitu bakteri *Streptococcus lactis* dan *Lectonosto ceremoris*. Mikroorganisme tersebut berfungsi sebagai membentuk proses pengasaman. Kemudian susu akan diberi cita rasa dan lemak mentega yang ada akan dipisahkan, Selanjutnya lemak mentega diaduk untuk menghasilkan mentega yang siap dikonsumsi.

2) Pengolahan Kacang**a) Kecap dengan tauco**

Pada saat proses pembuatan kecap bahan utama yang digunakan yaitu kacang kedelai dan ditambahkan mikroorganisme berupa jamur *Aspergillus soyae* dan *Aspergillus wentii*. Sedangkan pada pembuatan tauco bahan kacang kedelai ditambahkan mikroorganisme yaitu *Aspergillus oryzae*, mikroorganisme ini berfungsi untuk mengubah protein kompleks pada kacang kedelai menjadi asam amino yang dapat membuat dengan mudah dicerna oleh tubuh manusia.

b) Tempe dan oncom

Pada saat proses pembuatan tempe harus dilakukan fermentasi kedelai menggunakan mikroorganisme yaitu *Rhizopus sp*, yang dapat mengubah protein kompleks didalam kacang kedelai menjadi asam amino. Sedangkan pada pembuatan oncom dilakukan fermentasi bungkil kacang tanah menggunakan mikroorganisme yaitu *Rhizopus oligosporus*.

3) Pengolahan Limbah Pertanian**Nata de coco**

Nata dapat dibuat dari limbah air kelapa, limbah kulit nenas dari industri pengalengan, tetes tebu (molases), filtrat kecambah kacang hijau, santan air kelapa, limbah cair pembuatan tahu (*whey*), air pencucian beras dan lain-lain. Nata yang dibuat dari air kelapa dikenal dengan nama *nata de coco*, nata dari nenas disebut *nata de pina*, nata dari tetes tebu disebut *nata de molases*, sedangkan nata yang dibuat dari limbah air tahu disebut *nata de soya*. Dalam pembuatan nata de coco atau jenis nata lainnya digunakan mikroorganisme berupa bakteri starter *Acobacter xylinum*. Adanya gula sukrosa dalam air kelapa akan dimanfaatkan oleh *Acetobacter xylinum* sebagai sumber energi, maupun sumber karbon untuk menghasilkan senyawa metabolit di antaranya adalah serat-serat selulosa yang menghasilkan Nata De Coco (Lubis dan Harahap, 2018).

3. Rangkuman

Bioteknologi pada zaman dahulu dianalogikan dengan industri mikrobiologi (industri yang berbasis pada peran agen-agen mikroba) namun bioteknologi yang sedang berkembang pada masa kini adalah bioteknologi modern dengan menggunakan teknologi rekombinasi DNA dengan teknik tertentu untuk memotong, menyisipkan, maupun menyusun kembali fragmen-fragmen DNA. Dalam perkembangannya bioteknologi memiliki cabang ilmu yang diasosikan dengan warna, yaitu:

- a. Bioteknologi merah (*red biotechnology*) adalah cabang ilmu bioteknologi yang mempelajari aplikasi bioteknologi di bidang medis.

- b. Bioteknologi putih/abu-abu (*white/gray biotechnology*) adalah bioteknologi yang diaplikasikan dalam industri seperti pengembangan dan produksi senyawa baru serta pembuatan sumber energi terbarukan.
- c. Bioteknologi hijau (*green biotechnology*) mempelajari aplikasi bioteknologi di bidang pertanian dan peternakan.
- d. Bioteknologi biru (*blue biotechnology*) disebut juga bioteknologi akuatik atau perairan yang mengendalikan proses-proses yang terjadi di lingkungan akuatik.

Bioteknologi industri adalah aplikasi bioteknologi untuk memenuhi tujuan aktivitas industri mencakup penggunaan sel dan komponen sel seperti organel dan enzim untuk menghasilkan produk. Bioteknologi dapat diaplikasikan pada industri sarana produksi pertanian dan pengolahan hasil pertanian. Industri-industri tersebut diantaranya yaitu:

- 1) Industri Pengadaan Sarana Produksi Pertanian
 - a) Pengadaan Benih Hasil Rekayasa Genetik, yaitu benih tanaman yang memiliki gen asing dari spesies tanaman yang berbeda atau makhluk hidup lain memiliki tujuan untuk mendapatkan sifat-sifat yang diinginkan, seperti tahan kekeringan, resisten terhadap organisme pengganggu tanaman, kuantitas dan kualitas hasil yang lebih tinggi dari tanaman alami. Contoh Golden Rice, Padi toleran herbisida, Jagung resisten penggerek batang dan Pepaya resisten PRSV.
 - b) Pupuk Organik dengan Biofertilizer, yaitu pupuk organik yang Biofertilizer adalah preparat yang mengandung mikroba hidup yang membantu untuk memperbaiki kesuburan tanah baik melalui pengikatan nitrogen dari atmosfer, pelarutan fosfat, pelapukan limbah organik atau peningkatan pertumbuhan tanaman dengan memproduksi hormon karena aktivitas biologi mereka. Biofertilizer dapat disusun oleh bakteri yaitu beberapa jenis rhizobakteri serta fungi *trichoderma* dan *mikoriza*.
 - c) Biopestisida, yaitu bahan yang berasal dari makhluk hidup (tanaman, hewan atau mikroorganisme) yang berkhasiat menghambat pertumbuhan dan

perkembangan atau mematikan hama atau organisme penyebab penyakit. Contoh Jamur *Metarhizium anisopliae* yang memiliki zat aktif untuk membunuh *coleoptera*, *hemiptera*, *lepidoptera* dan *isoptera*. Tanaman *Swietenia mahogoni* memiliki zat aktif *flafanoid* dan *saponin* untuk menmbasmi *Lepidoptera*.

2) Industri Pengolahan Hasil Pertanian

- a) Pengolahan Susu, diantaranya yaitu yoghurt dengan bantuan bakteri *Streptococcus thermophilus* dan *Lactobacillus bulgaricus*, keju dengan bantuan bakteri *Streptococcus thermophilus*, *Lactococcus lactis* dan *Leuconostoc mesenteroides*, mentega dengan bantuan bakteri *Streptococcus lactis* dan *Lectonosto ceremoris*.
- b) Pengolahan Kacang, diantaranya yaitu kecap dengan bantuan jamur *Aspergillus soyae* dan *Aspergillus wentii*, tauco dengan bantuan *Aspergillus oryzae*, tempe dengan bantuan *Rhizopus sp*, oncom dengan bantuan *Rhizopus oligosporus*.
- c) Pengolahan limbah pertanian, diantaranya limbah air kelapa dikenal dengan nama *nata de coco*, nata dari nenas disebut *nata de pina* , nata dari tetes tebu disebut *nata de molases*, sedangkan nata yang dibuat dari limbah air tahu disebut *nata de soya*. Pembuatan nata de coco atau jenis nata lainnya digunakan mikroorganisme berupa bakteri starter *Acobacter xylinum*.

4. Soal Latihan

- 1) Bioteknologi yang mempelajari aplikasi bioteknologi di bidang pertanian dan peternakan adalah...
 - a. Bioteknologi Putih
 - b. Bioteknologi Merah
 - c. Bioteknologi hijau
 - d. Bioteknologi Biru
- 2) Bioteknologi yang diaplikasikan dalam industri seperti pengembangan dan produksi senyawa baru serta pembuatan sumber energi terbarukan adalah...
 - a. Bioteknologi Putih
 - b. Bioteknologi Merah
 - c. Bioteknologi hijau
 - d. Bioteknologi Biru

- 3) Salah satu fase kritis pada transformasi tanaman transgenik yaitu
 - a. Masuknya gen ke sel
 - b. Menumbuhkan tanaman
 - c. Memilih jenis tanaman
 - d. Memilih umur tanaman

- 4) Salah satu gen yang disisipkan pada tanaman padi "*Golden rice*" berasal dari tanaman...
 - a. *Zea mays*
 - b. *Carica papaya*
 - c. *Erwinia carotovora*
 - d. *Glycine max*

- 5) Rhizobakteri merupakan salah satu jenis biofertilizer yang berfungsi sebagai...
 - a. Mengkolonisasi rizosfer (lapisan tanah disekitar perakaran).
 - b. Membantu tanaman dalam penyerapan nutrisi langsung melalui epidermis akar
 - c. Melindungi perakaran tanaman dari gangguan patogen penyebab penyakit
 - d. Sebagai antagonistik terhadap patogen

- 6) Insektisida biokimia mencakup bahan-bahan seperti
 - a. Mikroba
 - b. Feromon seks
 - c. Bakteri
 - d. Zat toksik

- 7) Dalam pembuatan oncom dilakukan fermentasi bungkil kacang tanah menggunakan mikroorganisme yaitu...
 - a. *Rhizopus oligosporus*
 - b. *Aspergillus wentii*
 - c. *Aspergillus oryzae*
 - d. *Acobacter xylinum*

- 8) Bakteri yang digunakan dalam industri pembuatan yoghurt adalah...
 - a. *Streptococcus cremoris*. dan *Lactobacillus bulgaricus*

- b. *Streptococcus thermophilus* dan *Lactobacillus bulgaricus*
 - c. *Streptococcus thermophilus* dan *Lactobacillus lactis*
 - d. *Streptococcus thermophilus* dan *Lactobacillus ceremoris*
- 9) Dalam pembuatan kecap dilakukan fermentasi kacang kedelai dibantu menggunakan mikroorganismenya yaitu...
- a. *Rhizopus oligosporus*
 - b. *Aspergillus wentii*
 - c. *Aspergillus oryzae*
 - d. *Acobacter xylinum*
- 10) Nata de coco terbentuk akibat adanya serat-serat selulosa yang dihasilkan oleh pemanfaatan atau perombakan gula sukrosa oleh mikroorganismenya yaitu...
- a. *Rhizopus oligosporus*
 - b. *Aspergillus wentii*
 - c. *Aspergillus oryzae*
 - d. *Acobacter xylinum*

5. Kunci Jawaban

- 1) C
- 2) A
- 3) A
- 4) C
- 5) A
- 6) B
- 7) A
- 8) B
- 9) B
- 10) D

6. Sumber Informasi dan Referensi

- Ahmad, Ahyar. 2014. Bioteknologi Dasar. Universitas Hasanuddin. Makassar
- BBPPMBTPH, 2017. Kehadiran Benih Produk Rekayasa Genetik (PRG) di Indonesia. Balai Besar Pengembangan Pengujian Mutu Benih Tanaman Pangan dan Hortikultura. <http://bbppmbtph.tanamanpangan.pertanian.go.id/index.php/berita/217>. diunduh pada 30 Oktober 2019.
- Faridah, H.D., dan Sari, S.K. 2019. Pemanfaatan Mikroorganisme Dalam Pengembangan Makanan Halal Berbasis Bioteknologi. *Journal of Halal Product and Research* Volume 2 Nomor 1, Mei 2019. Universitas Airlangga. Surabaya.
- Johannis, midzon. 2017. Stabilitas keamanan dan ketahanan pangan melalui inovasi, teknologi perlindungan tanaman dan bioteknologi. *Discussion of croflife*. Jakarta.
- LIPI. 2018. Pupuk Organik: Bioteknologi Untuk Kehidupan Lebih Baik. Pusat Penelitian Bioteknologi. Bogor <http://www.biotek.lipi.go.id/index.php/seputar-p2biotek/418-pupuk-organik> diunduh pada 30 Oktober 2019.
- Lubis, A.W., dan Harahap, D.N. 2018. Pemanfaatan Sari Buah Naga Super Merah (*Hylocereus costaricensis*) Pada Pembuatan Nata De Coco Terhadap Mutu Fisik Nata. *CHEDS: Journal of Chemistry, Education, and Science* Vol. 2 No. 2, Desember 2018. Universitas Islam Sumatera Utara. Medan.
- Purwanto, Imam., Suhaeti, E., Sumantri, E. 2015. Menghitung Takaran Pupuk Untuk Percobaan Kesuburan Tanah. Balai Penelitian Tanah. Bogor.
- Sumartini. 2016. Biopestisida untuk Pengendalian Hama dan Penyakit Tanaman Aneka Kacang dan Umbi. Balai Penelitian Tanaman Aneka Kacang dan Umbi. Malang.
- Sutarman. 2016. Biofertilizer Fungi Trichoderma dan Mikoriza. UMSIDA PRESS. Sidoarjo.
- Sutarno. 2016. Rekayasa Genetik dan Perkembangan Bioteknologi di Bidang Peternakan. *Proceeding Biology Education Conference (ISSN: 2528-5742), Vol 13(1) 2016: 23-27*. Universitas Sebelas Maret. Surakarta.

Yuningsih. 2016. Bioinsektisida Sebagai Upaya Re-Harmonism Ekosistem. Universitas Negeri Yogyakarta. Yogyakarta.

C. Penilaian

- 1. Sikap** : Keikutsertaan dan partisipasi aktif dalam diskusi.
- 2. Pengetahuan** : Kemampuan menjawab pertanyaan dengan benar soal latihan.
- 3. Keterampilan** : Melaksanakan penerapan aplikasi bioteknologi pada produk industri pengolahan hasil pertanian.

Kegiatan Pembelajaran 8 :

8. Prospek dan Implikasi Perkembangan Bioteknologi Pertanian di Indonesia

A. Deskripsi

Penerapan ilmu bioteknologi dalam pertanian telah menjadi semakin meningkat dalam dekade terakhir. Gen yang pertama kali dimasukkan ke jagung menggunakan teknik molekuler pada tahun 1989, dan pada akhir 1990-an petani menanam jutaan hektar jagung transgenik. Ilmu bioteknologi untuk pertanian masih dalam masa pertumbuhan, namun menunjukkan pengaruh yang besar.

Pada Bab sebelumnya mengulas mengenai bioteknologi pertanian baik tradisional maupun modern, aplikasi bioteknologi pertanian dalam bidang hortukultura, perlindungan tanaman, tanaman transgenik hingga aplikasi dalam bidang industri pertanian. Manusia yang sudah memiliki naluri untuk memilih dan menggunakan benih yang unggul menjadikan mereka mengetahui bahwa keturunan yang baik ditentukan oleh induk yang baik. Sifat-sifat dari induk diwariskan kepada anaknya. Dari situlah perkembangan bioteknologi bidang pertanian bermula. Teknologi genetika merupakan cabang ilmu pertanian yang berkembang cepat pada abad ini yang mengubah sistem produksi tanaman, ternak, dan ikan menjadi industri biologi yang lebih baik dan lebih adaptif terhadap lingkungan.

Penggunaan metode konvensional dengan teknologi tinggi memaksimalkan keberhasilan program perbaikan pertanian. Bioteknologi harus diintegrasikan ke dalam pendekatan-pendekatan konvensional yang sudah mapan. Bioteknologi

berkembang dengan cepat di berbagai sektor dan meningkatkan keefektifan cara-cara menghasilkan produk dan jasa. Untuk alih teknologi dan pengembangan bioteknologi secara layak dan tidak merusak lingkungan, diperlukan berbagai persyaratan selain peraturan per-undangan juga modal yang besar.

Kebijakan dukungan pemerintah tetap ada tetapi dana terbatas. Untuk lima tahun ke depan, pengembangan infrastruktur di universitas, lembaga penelitian publik, dan lembaga penelitian non-publik akan melambat, jika tidak dihentikan. Satu-satunya keuntungan dari pengalaman 10 tahun terakhir adalah bahwa Indonesia dapat mengidentifikasi kekuatan kemampuan bioteknologinya. Berbagai kelompok penelitian yang kuat di dalam negeri telah dan sedang dibentuk. Ini adalah salah satu bidang yang dapat mengarah pada pengembangan kolaborasi yang cepat dengan komunitas ilmiah internasional dan menarik dana dari berbagai lembaga pendanaan internasional.

Di masa depan, kebutuhan akan visi baru dalam pengembangan dan pemanfaatan bioteknologi, kewirausahaan, modal ventura / bank, dan kualitas penelitian untuk pengembangan industri akan luar biasa.

B. Kegiatan Pembelajaran

1. Tujuan Pembelajaran

Tujuan pembelajaran ini adalah dapat memahami prospek dan implikasi perkembangan bioteknologi pertanian di Indonesia serta memahami sejarah bioteknologi dan aplikasinya dalam bidang pertanian.

2. Uraian Materi

Perkembangan Penelitian Bioteknologi Pertanian di Indonesia

Pada dekade pertama pengembangan bioteknologi di Indonesia, bioteknologi yang pertama dikembangkan adalah kultur jaringan tanaman untuk perbanyakan massal dan produksi ketahanan tanaman terhadap penyakit, pupuk hayati, dan biokontrol berbasis komersial. Aplikasi bioteknologi pertanian diaplikasikan di beberapa tanaman seperti padi, jagung, ubi jalar, dan kentang. Pemuliaan dengan bantuan molekuler menggunakan penanda DNA digunakan untuk

mengembangkan resistensi beras terhadap hawar daun bakteri dan beberapa lokus sifat kuantitatif untuk stres abiotik diidentifikasi dan digunakan dalam pemuliaan tanaman beras.

Penelitian bioteknologi pertanian mulai digalakkan dengan pembentukan Panitia Nasional Bioteknologi di bawah Menteri Negara Riset dan Teknologi pada tahun 1985. Ada 6 tugas yang diberikan pada Panitia Nasional Bioteknologi, yaitu (1) persiapan dan formulasi kebijakan dan program pengembangan bioteknologi nasional, (2) koordinasi kegiatan penelitian dan pengembangan, (3) promosi aplikasi bioteknologi, (4) meningkatkan kerjasama bioteknologi secara lokal dan internasional, (5) petunjuk pada pengembangan sumber daya manusia, regulasi dalam impor, penelitian dan pelepasan produk rekayasa genetika ke masyarakat, dan (6) melibatkan swasta yang bergerak dalam bidang bioteknologi.

Kegiatan penelitian bioteknologi pertanian mulai meningkat dengan dilaksanakannya program Riset Unggulan Terpadu (RUT) yang dikelola oleh Dewan Riset Nasional dan Hibah Bersaing yang dilaksanakan di perguruan tinggi. Awalnya penelitian bioteknologi terpusat di Pusat Penelitian dan Pengembangan Bioteknologi LIPI, Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian Departemen Pertanian, dan Pusat Antar Universitas IPB. Pada tahun 1997 dana yang dikeluarkan oleh ketiga organisasi tersebut sekitar 70% dari total pengeluaran penelitian bioteknologi di Indonesia. Dengan adanya kerja sama penelitian dan pengembangan sumber daya manusia, bioteknologi pertanian telah dilaksanakan di berbagai lembaga penelitian dan perguruan tinggi lainnya. Kegiatan penelitian dan pengembangan bioteknologi pertanian saat ini dapat dikelompokkan menjadi tiga, yaitu mikrobiologi terapan, kultur jaringan, dan biologi molekuler.

- a. Penelitian di bidang mikrobiologi terapan terutama memanfaatkan isolat mikroba yang tersedia di alam yang berguna untuk meningkatkan pertumbuhan dan produksi tanaman. Untuk tanaman pangan penggunaan mikoriza, rhizobium, dan aspergillus mampu meningkatkan efisiensi pupuk dan meningkatkan hasil padi gogo, kedelai, dan kacang tanah. Pengembangan pupuk hayati yang mengandung penambat N nonsimbiotik yang efektif, pelarut fosfat dan mikroba penstabil agregat tanah, insektisida hayati yang

mengandung *Beauveria bassiana*, pembuatan pulp dengan menggunakan cendawan pelapuk putih, dan pembuatan bahan penyedap secara mikrobiologi merupakan kegiatan utama yang dilakukan di lembaga penelitian bioteknologi di bidang mikrobiologi.

- b. Penelitian kultur jaringan tanaman bertujuan untuk memanfaatkan teknik kultur sel dan jaringan untuk perbaikan genetik tanaman. Kegiatan penelitian tersebut terutama untuk mengembangkan teknik induksi dan regenerasi dari anter, embrio, dan pro-toplas, serta identifikasi varietas yang memiliki efisiensi tinggi dalam proses regenerasi yang merupakan bagian dari transformasi. Pemanfaatan kultur jaringan untuk mikropropagasi telah menunjukkan keberhasilannya. Pada tanaman perkebunan telah berhasil pada tanaman kelapa sawit, kopi, dan teh, selain itu juga dikembangkan kultur suspensi sebagai alternatif dari produksi massal bahan tanaman kelapa sawit, kopi, karet, dan coklat.
- c. Teknik molekuler seperti restriction fragmen length polymorphism (RFLP), random amplified polymorphic DNA (RAPD), dan simple sequence repeats (SSR) telah digunakan untuk karakterisasi plasma nutfah, seleksi dengan bantuan markah, pemetaan gen yang dapat dilanjutkan dengan isolasi dan kloning gen, serta diagnosis penyakit. Dengan markah molekuler telah dilakukan analisis hubungan kekerabatan varietas padi, analisis genetik penyakit blas dan hawar daun bakteri, serta seleksi tanaman padi tahan bakteri hawar daun. Teknik tersebut juga digunakan untuk seleksi kopi Arabika yang tahan terhadap nematoda. Dengan menggunakan teknik molekuler dapat dirakit gen untuk ketahanan terhadap hama dan penyakit tanaman. Selanjutnya melalui transformasi gen tersebut digunakan untuk membuat tanaman transgenik.

Aspek Keamanan Produk Bioteknologi Pertanian di Indonesia

Peraturan keamanan terhadap produk bioteknologi pertanian telah ditetapkan di Indonesia sejak tahun 1997, sebagaimana termaktub dalam Keputusan Menteri tentang Produk Bioteknologi Rekayasa Genetik, yang diberlakukan oleh Menteri Pertanian. Untuk mengimplementasikan keputusan tersebut, sebuah komite

untuk keamanan juga dibentuk pada tahun 1997. Komite tersebut didukung oleh tim teknis yang terdiri dari para ahli bioteknologi tanaman yang mewakili berbagai lembaga dan universitas nasional. Tim teknis merumuskan serangkaian pedoman untuk pelepasan organisme hasil rekayasa genetika. Rangkaian pedoman ini mencakup pedoman umum dan spesifik untuk tanaman rekayasa genetika, mikroba, dan hewan.

Dekrit 1997 tidak mencakup tanaman perkebunan dan kehutanan serta produk makanan. Untuk memenuhi kebutuhan akan cakupan yang luas, surat keputusan tersebut direvisi pada tahun 1999 dengan surat keputusan bersama empat kementerian, yaitu: Kementerian Pertanian, Kementerian Perkebunan dan Kehutanan, Kementerian Pangan, dan Kementerian Kesehatan. Anggota komite dan tim teknis juga diperluas, mewakili berbagai pihak. Pedoman keamanan makanan dari produk modifikasi genetik organisme (GMO) telah disusun dan akan dirilis dalam tahun ini. Namun, saat ini, Indonesia belum merilis bahan transgenik. Enam aplikasi dari Monsanto dan Pioneer telah ditinjau. Jagung Bt, dan kapas Bt dari Monsanto dan kedelai Roundup Ready, jagung dan kapas telah melalui komite keamanan hayati dan saat ini sedang dalam proses peninjauan komite pelepasan varietas tanaman.

Masa Depan Pengembangan Bioteknologi Pertanian Indonesia

Indonesia adalah negara kepulauan terbesar di dunia, terbentang di zona tropis antara dua benua, Australia dan Asia. Indonesia terdiri dari 17.508 pulau, yang bervariasi dalam ukuran dan bentuk. Jenis tanah juga bervariasi dari datar, berbukit ke pegunungan. Setidaknya terdapat 47 ekosistem yang berbeda. Sekitar 17 persen dari semua makhluk hidup di dunia ditemukan di Indonesia, termasuk 10 persen dari semua tanaman berbunga, 12 persen mamalia, dan 25 persen reptil. Keragaman mikroba sangat besar dan tidak ada yang bisa memperkirakan angka yang sebenarnya. Kekayaan keanekaragaman hayati merupakan keunggulan kompetitif bagi negara. Keanekaragaman hayati tersebut perlu dipertahankan, pemanfaatannya harus dianggap penting.

Dengan mega keanekaragaman hayati, Indonesia seharusnya menjadi terkaya dalam hal sumber daya genetik. Dengan kemajuan ilmu biologi, khususnya di

bidang biologi molekuler dan genetika molekular, potensi gen-gen target dari sumber daya hayati dapat dipelajari, diisolasi, diperbanyak, diawetkan, dan dimanfaatkan. Pemanfaatan sejumlah gen target melalui bioteknologi maju memiliki potensi besar untuk pertanian Indonesia (produksi makanan), industri (nilai tambah produk pertanian), kesehatan (tradisional obat dan pengembangan obat), dan lingkungan (peningkatan kualitas lingkungan). Oleh karena itu, bioteknologi akan sangat penting untuk pembangunan ekonomi masa depan Indonesia.

Dukungan kebijakan pemerintah tetap tapi dana terbatas. Selama lima tahun ke depan, pembangunan infrastruktur di perguruan tinggi, lembaga penelitian publik, dan lembaga penelitian non publik akan melambat. Satu-satunya keuntungan dari kurun waktu beberapa tahun pengalaman bahwa telah memungkinkan bagi Indonesia untuk mengidentifikasi kekuatan kemampuan bioteknologinya. Berbagai kelompok penelitian yang kuat di dalam negeri telah terbentuk dan sedang berkembang. Ini adalah salah satu upaya yang dapat meningkatkan pengembangan kerjasama dengan komunitas ilmiah internasional dan menarik dana dari berbagai lembaga internasional. Di masa depan, kebutuhan untuk sebuah visi baru dalam pengembangan bioteknologi, pemanfaatan, kewirausahaan, modal atau sumberdaya keuangan, dan kualitas penelitian yang harus didukung oleh sumber daya manusia yang handal untuk pengembangan industri akan menjadi luar biasa.

3. Rangkuman

- ✓ Pada dekade pertama pengembangan bioteknologi di Indonesia, bioteknologi yang pertama dikembangkan adalah kultur jaringan tanaman.
- ✓ Penelitian bioteknologi pertanian mulai digalakkan dengan pembentukan Panitia Nasional Bioteknologi di bawah Menteri Negara Riset dan Teknologi pada tahun 1985.
- ✓ Kegiatan penelitian dan pengembangan bioteknologi pertanian saat ini dapat dikelompokkan menjadi tiga, yaitu mikrobiologi terapan, kultur jaringan, dan biologi molekuler.

- ✓ Peraturan keamanan terhadap produk bioteknologi pertanian telah ditetapkan di Indonesia sejak tahun 1997.
- ✓ Di masa depan, kebutuhan untuk sebuah visi baru dalam pengembangan bioteknologi, pemanfaatan, kewirausahaan, modal atau sumberdaya keuangan, dan kualitas penelitian yang harus didukung oleh sumber daya manusia yang handal untuk pengembangan industri bioteknologi pertanian.

4. Soal Latihan

- 1) Jelaskan perkembangan dan aspek keamanan bioteknologi pertanian di Indonesia?
- 2) Sebutkan dan jelaskan Kegiatan penelitian dan pengembangan bioteknologi pertanian di Indonesia?

5. Kunci Jawaban

- 1) Kultur jaringan adalah teknik bioteknologi yang dikembangkan dalam decade pertama pengembangan bioteknologi di Indonesia, Penelitian bioteknologi pertanian mulai digalakkan dengan pembentukan Panitia Nasional Bioteknologi di bawah Menteri Negara Riset dan Teknologi pada tahun 1985. Kegiatan penelitian dan pengembangan bioteknologi pertanian saat ini dapat dikelompokkan menjadi tiga, yaitu mikrobiologi terapan, kultur jaringan, dan biologi molekuler, selanjutnya peraturan kemanan terhadap produk bioteknologi pertanian ditetapkan pada tahun 1997 dan ditahun yang sama dibentuk komite untuk mengimplementasikan peraturan tersebut.
- 2) a. Penelitian di bidang mikrobiologi terapan terutama memanfaatkan isolat mikroba yang tersedia di alam yang berguna untuk meningkatkan pertumbuhan dan produksi tanaman
- b. Penelitian tanaman pangan dilakukan dengan penggunaan mikoriza, rhizobium, dan aspergillus yang mampu meningkatkan efisiensi pupuk dan meningkatkan hasil padi gogo, kedelai, dan kacang tanah. Pengembangan pupuk hayati yang mengandung penambat N nonsimbiotik yang efektif, pelarut fosfat dan mikroba penstabil agregat tanah, insektisida hayati yang mengandung *Beauveria bassiana*, pembuatan pulp dengan menggunakan

cendawan pelapuk putih, dan pembuatan bahan penyedap secara mikrobiologi merupakan kegiatan utama yang dilakukan di lembaga penelitian bioteknologi di bidang mikrobiologi.

- c. Penelitian kultur jaringan tanaman untuk mikropropagasi tanaman perkebunan seperti kelapa sawit dan teh. Selain itu juga dikembangkan kultur suspensi sebagai alternatif dari produksi massal bahan tanaman kelapa sawit, kopi, karet, dan coklat.
- d. Teknik molekuler seperti restriction fragmen length polymorphism (RFLP), random amplified polymorphic DNA (RAPD), dan simple sequence repeats (SSR) telah digunakan untuk karakterisasi plasma nutfah, seleksi dengan bantuan markah, pemetaan gen yang dapat dilanjutkan dengan isolasi dan kloning gen, serta diagnosis penyakit. Dengan markah molekuler telah dilakukan analisis hubungan kekerabatan varietas padi, analisis genetik penyakit blas dan hawar daun bakteri, serta seleksi tanaman padi tahan bakteri hawar daun. Teknik tersebut juga digunakan untuk seleksi kopi Arabika yang tahan terhadap nematoda. Dengan menggunakan teknik molekuler dapat dirakit gen untuk ketahanan terhadap hama dan penyakit tanaman. Selanjutnya melalui transformasi gen tersebut digunakan untuk membuat tanaman transgenik.

6. Sumber Informasi dan Referensi

Endang Sukara and I.H. Slamet-Loedin. *Agricultural Biotechnology in Indonesia*. R & D Center for Biotechnology, The Indonesian Institute of Sciences (LIPI), Bogor, Indonesia.

Novianti Sunarlim dan Sutrisno. 2003. Perkembangan Penelitian Bioteknologi Pertanian di Indonesia. *Buletin AgroBio* 6(1):1-7.

Marcia Bunga Pabendon. 2013. Peran Penelitian Bioteknologi Menunjang Pertanian Bioindustri. Seminar Serealia

Tri Muji Ermayanti. 2004. *Development of Agricultural Biotechnology in Indonesia*. China-ASEAN Workshop on Conservation and Biotechnology Application of Tropical Biological Resources.

C. Penilaian

1. **Sikap** : keikutsertaan dan partisipasi aktif dalam diskusi.
2. **Pengetahuan** : kemampuan menjawab pertanyaan dengan benar soal latihan.
3. **Keterampilan** : melaksanakan penerapan tanaman transgenik.

BAB III.

PENUTUP

Bahan ajar ini disusun untuk salah satu bahan acuan mahasiswa dalam mengikuti proses pembelajaran di Program Studi Agribisnis Hortikultura, Politeknik Pembangunan Pertanian. Bahan ajar ini dilengkapi dengan soal latihan untuk mereview pemahaman teori serta tugas praktik yang harus dilakukan untuk mengimplementasikan materi. Selanjutnya tugas praktik dipandu tersendiri dengan buku petunjuk praktikum pada buku lainnya. Materi yang disajikan terbatas pada silabus yang telah disusun di Kurikulum Program Studi Agribisnis Hortikultura. Untuk memperkaya pengetahuan dan wawasan mahasiswa diperlukan membaca buku referensi lain baik yang dikutip dalam bahan ajar ini maupun buku lainnya yang relevan. Terimakasih disampaikan kepada Pusat Pendidikan Pertanian Badan Penyuluhan dan Pengembangan SDM Pertanian yang telah memfasilitasi proses penyusunan bahan ajar ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Abbas Barahima. 2011. Prinsip Dasar Teknik Kultur Jaringan. Alfabeta. Bandung.
- Adinurani P.G, Mulyati M dan Roy H. 2008. (*Abstrak*) Pengaruh Cendawan Mikoriza Arbuskula (CMA) pada Tebu di Tanah Mineral Masam di Tolangohula Gorontalo.
- Ahloowalia, B.S., J. Prakash, V.A. Savangikar, and C. Savangikar. 2004. Plant Tissue Culture. Proceedings of a Technical Meeting. FAO/IAEA Division of Nuclear Techniques in Food and Agriculture. Viena. P 3-9.
- Alexander,M. 1977. *Introduction to soil Microbiology*.Academic Press. New York.
- Alexander, M. 1977. *Introduction to soil mycrobiology*. 2nd Ed. John Wiley and Sons. New York. 467 p.
- Ahmad, Ahyar. 2014. Bioteknologi Dasar. Universitas Hasanuddin. Makassar
- Agriflo. 2016. Urban Farming Bertani Kreatif Sayur, Hias, & Buah. Agriflo. Jakarta.
- Agbios GM Data Base. 2007. Budidaya jagung. <http://www.agbios.com/dbase.php> [diakses 4 Agustus 2019]
- Amirhusin, Bahagiawati. 2004. *Perakitan Tanaman Transgenik Tahan Hama*. Bogor: Jurnal Litbang Pertanian
- Amirhusin, Bahagiawati. 2004. *Penggunaan Bacillus thuringiensis sebagai Bioinsektisida*. Bogor : Buletin AgroBio
- Anas, I. 1997. Bioteknologi Tanah. Laboratorium Biologi Tanah. Jurusan Tanah. Fakultas Pertanian. IPB.
- Andayani D, Kodri M, Octaviana RS, Rangkuti RP, Suradi S. 2016. Bioteknologi Pupuk Hayati. Fakultas Pertanian Perikanan dan Biologi Universitas Bangka Belitung. Pangkal Pinang.
- Anonim.2001.Tanaman Transgenik dan UU Varietas Tanaman: Kontroversi Tiada Akhir.<http://www.sinarharapan.co.id/berita/0111/26/ipt01.html>. Tanggal akses: diakses 4 Agustus 2019.

- Antonius Suwanto. "Tanaman Transgenik: Bagaimana Kita Menyikapinya ?". BB-Biogen Bogor. Diakses 8 Juli 2019.
- Aregay Waktola and Bayush Tsegaye(2003). Biotechnology related policy, management and negotiation competence: case study from Ethiopia.
- Baker, K.F. and R.J.Cook. 1982. *Biological Control of Plant Patogens*.The American society. St. Paul, Minnesota.
- Balai Penelitian Tanaman Buah Tropika. 2007. Cendawan Mikoriza Arbuskular Mampu Memacu Pertumbuhan Manggis, terhubung berkala : www.google.com
- Baylis, G.T.S. 1975. The magnoloid mycorrhiza and mycotrophy in root systems deived from it. p. 373-389. In: F.E.Sanders, B.Mosse, and P.B. Tinker (Eds.), Endomycorrhizas. Academic Press, London.
- Barnet, H.I and B.B, Hunter. 1987. *Illustrated Genera of Imperfect Fungi*. Me Millan Publishing Company. New York.Edisi IV, 70p
- BBPPMBTPH, 2017. Kehadiran Benih Produk Rekayasa Genetik (PRG) di Indonesia. Balai Besar Pengembangan Pengujian Mutu Benih Tanaman Pangan dan Hortikultura. <http://bbppmbtph.tanamanpangan.pertanian.go.id/index.php/berita/217>. diunduh pada 30 Oktober 2019.
- Bloemberg, G.V. and B. JJ. Lugtenberg. 2001. *Molecular basis of plant growth promotion and biocontrol by rhizobacteria*. Leiden University, Institute of Molecular Plant Sciences, Netherlands
- Brundrett, M. 2004. *Diversity and classification of mycorrhizal associations*. *Biol. Rev.* 79:473–495.
- Budiyanto MAK, 2002. Peranan Mikroorganisme dalam Kehidupan Kita. Malang: Universitas Muhammdiyah Malang Press.
- Cadet J, Sage E, Douki T. 2005. Ultraviolet radiation mediated damage to cellular DNA. *Mutation Research*. 571 (2): 3–17.
- Cahyadi, F. 2006.Dampak Lingkungan Tanaman Transgenik.<http://www.satudunia.net/node/1178>. Tanggalakses: diakses 4 Agustus 2019

- Caponetti J.D, D.J. Gray, and R.N. Trigiano. 2000. History of plant tissue and cell culture, p. 11-17. In R.N. Trigiano and D.J. Gray (Eds.). *Plant Tissue Culture Concept and Laboratory Exercise Second Edition*. CRC Press. New York.
- Cartagena Protocol on Biosafety (2000). *Cartagena Protocol on Biosafety to the convention on biological diversity: text and Annexes*. Montréal.
- Chet, I. 1986. *Innovative approach to Plant Disease Control*. The Hebrew University of Jerusalem, Faculty of agriculture. Rehovot, Israel. John Wiley and Sons. New York. 11-210
- Darmasiwi, S. 2007. Amankah Mengkonsumsi Tanaman Transgenik? <http://id.shvoong.com/exact-sciences/biology/1626834-amankah-mengkonsumsi-tanaman-transgenik/>. diakses 4 Agustus 2019.
- David P. Clark, Nanette Jean Pazdernik (2008). *Biotechnology: applying the genetic revolution*. Academic Press. ISBN 978-0-12-175552-2. Page.414.
- Douds D.D and Patricia D Millner. 1999. *Biodiversity Of Arbuscular Mycorrhizal Fungi In Agroecosystems*. Agriculture, Ecosystems and Environment. Vol 74. Hal 77-93
- Diefus-Dux, H.A., Dyehouse, M., Bennett, D., & Imbrie, P.K. (2007). "Nanotechnology Awareness of First-Year Food and Agriculture Student following a Brief Exposure". *Journal of Natural Resources & Life Sciences Education*.
- Dwijoseputro, 1990. *Dasar-dasar Mikrobiologi*. Jakarta: Djambatan.
- Endang Sukara and I.H. Slamet-Loedin. *Agricultural Biotechnology in Indonesia*. R & D Center for Biotechnology, The Indonesian Institute of Sciences (LIPI), Bogor, Indonesia.
- Eriksson, K.E.L., Blanchette, R.A., and Ander, P. 1989. *Microbial and enzymatic degradation of wood and wood components*. Springer-Verlag Heildeberg. New York.
- Ex-Im bank of India (2010). *biotechnology industry in India: opportunities and growth*. Occasional paper.137. quest publications

- Faridah, H.D., Sari, K.S. (2019). Pemanfaatan Mikroorganisme dalam Pengembangan Makanan Halal Berbasis Bioteknologi. *Journal of Halal Product and Research*.
- Faridah, H.D., dan Sari, S.K. 2019. Pemanfaatan Mikroorganisme Dalam Pengembangan Makanan Halal Berbasis Bioteknologi. *Journal of Halal Product and Research* Volume 2 Nomor 1, Mei 2019. Universitas Airlangga. Surabaya.
- Fitch, M.M.M., R.M. Manshardt, and D. Gonsalves. 1990. Stable transformation of papaya via microprojectile bombardment. *Plant Cell Rep.* 9:189-194.
- Fleibach, A.R. Martens and H.H. Reber, 1994. *Soil microbial biomass and microbial activity in soil treated with heavy metal contaminated sewage sludge*. *Soil Biol. Biochem.* 26 (9) : 1201 – 1205.
- Fuller, G. 1999. Safety assessment of genetically modified corn: a case study. Regional Symposium on Genetically Modified Foods: Benefits and Awareness. Bangkok, March 17-18, 1999.
- George E. F. & Sherington P. D. 1984. *Plant Propagation by Tissue Culture*. Exegetics Ltd. England.709
- Purwianingsih, W., Rustaman, N.W., & Redjeki, S. (2009). Identifikasi Kesulitan Pembelajaran Bioteknologi pada Guru SLTA se Jawa Barat. *Sekolah Pascasarjana Universitas Pendidikan Indonesia*.
- Griffiths dkk, *An Introduction to genetic analysis*, New York: W.H. Freeman (1996).
- Gunawan, L.W. 1992. Teknik Kultur Jaringan Tumbuhan. Pusat Antar Universitas Bioteknologi Institut Pertanian Bogor. Bogor. 158 hal.
- Gunawan L. W. 1992. Tehnik Kultur jaringan Tanaman. Laboratorium Kultur Jaringan Tanaman. PAU. Bioteknologi Tanaman. Institut Pertanian Bogor. Bogor. 162 hal.
- Gusyana, Dadang.. 2002. *Seberapa Aman Produk Bioteknologi?* , (online), (<http://www.beritabumi.or.id/berita3.php?idberita=148>, diakses 4 Agustus 2019).
- Herman, M. 2002. Perakitan tanaman tahan serangga hama melalui teknik rekayasa genetik. *Buletin AgroBio* 5(1): 1-13.
- Hodges, J. 2000. Why Livestock, Ethics and Quality of Life? In: *Livestock, Ethics and Quality of Life*. J. Hodges dan In K. han (Eds). CABI Publishing, New York, USA.

- Irawan, A. 2006. Ancaman dan Harapan Dari Komoditas Transgenik. KORAN TEMPO Edisi 2006-08-06. Jaya, H. 2008. Bahayakah Tumbuhan Transgenik. http://hendra-jaya.blogspot.com/2008_01_13_archive.html. Tanggal akses diakses 4 Agustus 2019.
- James, E. and F.L. Olivares. 1997. *Infection and colonization of sugarcane and other graminaceous plants by endophytic diazotrophicus*. Plant Science. 17:77-119.
- Jeff Schahczenski, Katherine Adam (2006). "Transgenic Crops". ATTRA. Diakses 8 Juli 2019.
- JGI Microbes. 2004. *Pseudomonas fluorescens*. Available at: http://genome.jgi-psf.org/draft_microbes/psefl/psefl.home.html, diakses tanggal: 06 Agustus 2019.
- Johannis, midzon. 2017. Stabilitas keamanan dan ketahanan pangan melalui inovasi, teknologi perlindungan tanaman dan bioteknologi. Discussion of croflife. Jakarta.
- Junaedi A. 2019. Biopestisida Sebagai Pengendali Organisme Pengganggu Tanaman (OPT) yang Ramah Lingkungan. Jurnal EMBRYO VOL. 6 NO. 1. hlm: 88-95.
- Karlen D.L., E.G. Hurley, and A.P. Mallarino. 2006. *Crop rotation on soil quality at three northern corn/soybean belt location*. Agron. J. 98:484-495.
- Krisno, Agus. 2011. Rekayasa Genetika Bakteri *Bacillus thuringiensis* Dalam Perakitan Tanaman Transgenik Tahan Hama. <http://aguskrisnoblog.wordpress.com>. Diakses pada tanggal 05 September 2019 pukul 11:04 WIB.
- Kristensen, E., M. Holmer, and N. Bussarawit. 1991. *Benthic metabolism and sulfate reduction in a south-east Asian mangrove swamp*. Mar. Ecol. Prog. Ser. 73:93-103.
- Kirsi-Marja Oksman-Caldentey, Wolfgang Barz (2002). *Plant biotechnology and transgenic plants*. CRC Press. ISBN 978-0-8247-0794-1. Page.204-205.
- Kusuma, Anjar Leo. 2000. *Teori-teori Kultur Jaringan Materi Ajar*. jogjakarta : UGM. Diakses pada tanggal 05 Oktober 2019.
- Ladha, J.K. and P.M. Reddy. 1995. Extension of nitrogen fixation to rice: necessity and possibilities. GeoJournal. 35:363-372.

- Lai Chuo-Chun, Shyi-Dong Yeh, and Jiu-Sherng Yang. 2000. Enhancement of papaya axillary shoot proliferation in vitro by controlling the available ethylene. *Botanical Bull.f Acad. Sinica* 41:203-212.
- Lankinen, P. 2004. Ligninolytic enzymes of the basidiomycetous fungi *Agaricus bisporus* and *Phlebia radiata* on lignocellulose-containing media. Academic Dissertation in Microbiology. <http://www.u.arizona.edu/~leam/lankinen.pdf>. [10 Desember 2005].
- Lewis R. 1997. *Human Genetics: Concepts and Application*. 2nd Ed. Dubuque (US): Wm.C. Brown Publishers. hlm 189-191.
- LIPI. 2018. *Pupuk Organik: Bioteknologi Untuk Kehidupan Lebih Baik*. Pusat Penelitian Bioteknologi. Bogor <http://www.biotek.lipi.go.id/index.php/seputar-p2biotek/418-pupuk-organik> diunduh pada 30 Oktober 2019.
- Lubis, A.W., dan Harahap, D.N. 2018. Pemanfaatan Sari Buah Naga Super Merah (*Hylocereus costaricensis*) Pada Pembuatan Nata De Coco Terhadap Mutu Fisik Nata. *CHEDS: Journal of Chemistry, Education, and Science* Vol. 2 No. 2, Desember 2018. Universitas Islam Sumatera Utara. Medan.
- Lugtenberg B.J.J and Lev V Kravchenko. 1999. *Tomato Seed And Root Exudate Sugars: Composition, Utilization By Pseudomonas Biocontrol Strains And Role In Rhizosphere Colonization*. *Environmental Microbiology*. Vol 1 (5). Hal 439-446.
- Madigan, M.T; J.M. Martinko and J. Parker.,2000. *Biology of Microorganisms.Eighth edition*. Prentice Hall. International.Inc.
- Mankau R. 1980. *Biocontrol of nematodes*. dalam *Annual Review of Phytopathology*. Vol. 18. Palo Alto California. Hal 415.
- Marcia Bunga Pabendon. 2013. Peran Penelitian Bioteknologi Menunjang Pertanian Bioindustri. Seminar Serealia
- McLean, M.A. and D.J. MacKenzie. 2001. Principles and practice of environmental safety assessment of transgenic plants. Materials presented for Food Safety and Environmental Assessment Workshop. Bogor, April 10-12, 2001.

- Miles, C.O., M.E. diMena, S.W.L. Jacobs, I. Garthwaite, G.A. Lane, R.A. Prestidge, S.L. Marshal, H.H. Wilkinson, C.L. Schardl, O.J.P. Ball, and C.M.Latch. 1998. *Endophytic fungi in indigineous Australian grasses associated with toxicity to livestock*. Appl. Environ. Microbiol. 64:601-606.
- Mosse, B. 1981. *Vesicular-Arbuskular Mycorrhiza for Tropical Agriculture*. Hawaii Institute of Tropical Agriculture and Human Resources. University of Hawaii. 82 p.
- Muladno. 2002. *Seputar Teknologi Rekayasa Genetika*. Bogor: Pustaka Wirausaha Muda.
- Mulyadi. 2009. *Nematologi Pertanian*. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.
- Murashige, T. dan F. Skoog. 1962. A revised medium for rapid growth and bioassay with tobacco tissue culture. *Plant Physiol.* 15:473-497.
- Mustika, I., R. S. Djiwanti dan R. Harni. 2000. Pengaruh agensia hayati, bahan organik dan pestisida nabati terhadap nematoda tanaman nilam. Laporan Penyelesaian DIP Bagian Proyek Penelitian Tanaman Rempah dan Obat. Bogor. 85-91.
- Novianti Sunarlim dan Sutrisno. 2003. Perkembangan Penelitian Bioteknologi Pertanian di Indonesia. *Buletin AgroBio* 6(1):1-7.
- Ollitrault, P., V. Allent, and F. Luro. 1996. Production of haploid embryogenic calli of clementine (*Citrus reticu-late Blanco*) affer in situ parthenogenesis induction by irradiated pollen. *Proc. Int. Soc. Citriculture*. p. 913-917
- P. Bayer, S. Al-Babili, X. Ye, P. Lucca, P. Schaub, R. Welsch, dan I. Potrykus. *Golden Rice: Introducing the-Carotene Biosynthesis Pathway into Rice, Endosperm by Genetic Engineering to Defeat Vitamin A Deficiency*, *J. Nutr.* March 1, 2002, vol. 132 no. 3, 506S-510S.
- Prahardini, P.E.R. dan T. Sudaryono. 1992. Pengaruh kombinasi asam naftalen aasetat dan benzyl adenine terhadap kultur pepaya kultivar dampit secara in vitro. *Jurnal Hotikultura* 2(4):6-12.

- Prabowo, Radhian Ardy. 2010. *Makalah Pengantar Bioteknologi Dalam Proteksi Tanaman (PTN 403); Jagung Transgenik yang Mengandung Gen Bt*. Bogor: Departemen Proteksi Tanaman Fakultas Pertanian Institut Pertanian Bogor
- Prihatini, T, A. Kentjansasari dan Subowo 1996. Pemanfaatan biofertilizer untuk peningkatan produktivitas lahan pertanian
- Purwanto, Imam., Suhaeti, E., Sumantri, E. 2015. Menghitung Takaran Pupuk Untuk Percobaan Kesuburan Tanah. Balai Penelitian Tanah. Bogor.
- Rajiv Tyagi, P.R. Yadav (2008). *Biotechnology of Plant Tissue*. Educa Books. ISBN 978-81-8356-073-3. Page.202-204.
- Raven dkk, *Biology*, 7th Edition, New York: McGraw Hill Higher Education (2005).
- Ritchie, S.W. and T.K. Hodges. 1993. Cell culture and regeneration of transgenic plants. In Kung, S.D. (Ed.). *Transgenic Plant I*:147-173.
- Rothaar, R., Pittendirgh B.R., & Orvis K.S. (2006). "The Lego Analogy Model for Teaching Gene Sequencing and Biotechnology". *J.Biological Education*. 40 (4).
- Schumann, G.L. and Gleora J.D' Arcy. 2012. *Hungry planet,stories of plantd*. The American PhytopathologicalSociety. St Paul, Minnesota, USA. 294 p.
- Semangun, H. 1996. *Pengantar Penyakit Tumbuhan*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Setiawati, L., Darmawati., Mahadi, I. (2007). Pengembangan LKS SMA Pada Materi Bioteknologi Konvensional Melalui Eksperimen Pembuatan Tempe Menggunakan Bahan Baku Biji Karet.
- Sharma, A. K.2002. *Organic farming*. Central Arid Zone Researchinstitute Jodhpur. Agrobios. India.
- Sherman, R.E., T.J. Fahey, and R.W. Howarth. 1998. *Soil-plant interactions in a neotropical mangrove forest:iron, phosphorus, and sulfur dynamics*. *Oecologia* 115:553-563.
- Shumann JP, Jones DT, Woods DR. 1984. Effect of UV irradiation on macromolecular synthesis and colony formation in *bacteroides fragilis*. *Journal of General Microbiology*. 130: 771-777.

- Sigee, D.C. 2004. *Freshwater Microbiology*. West Sussex: John Willey and Sons
- Simanungkalit, R. D. M., Didi, A. S., Rasti, S., Diah, S., & Wiwik, H. 2006. *Pupuk Organik dan Pupuk Hayati*. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian. Jawa Barat.
- Snyder L, Champness W, Henkin TM, Peters JE. 2003. *Molecular Genetics of Bacteria*. Washington (US): ASM Press.
- Soedjono S. 2003. Aplikasi mutasi induksi dan variasi somaklonal dalam pemuliaan tanaman. *Jurnal Litbang Pertanian*. 22(2): 45-51.
- Sumartini. 2016. Biopestisida untuk Pengendalian Hama dan Penyakit Tanaman Aneka Kacang dan Umbi. Balai Penelitian Tanaman Aneka Kacang dan Umbi. Malang.
- Sutarman. 2016. Biofertilizer Fungi Trichoderma dan Mikoriza. UMSIDA PRESS. Sidoarjo.
- Sutarno. 2016. Rekayasa Genetik dan Perkembangan Bioteknologi di Bidang Peternakan. *Proceeding Biology Education Conference (ISSN: 2528-5742), Vol 13(1) 2016: 23-27*. Universitas Sebelas Maret. Surakarta.
- Sutedjo M,M. 1996. Mikro Biologi Tanah. Rineka Cipta. Jakarta.
- Suryowinoto. 1996. Pemuliaan Tanaman Secara In vitro. Yogyakarta: Kanisius.
- Sutarno. (2016). Rekayasa Genetik dan Perkembangan Bioteknologi di Bidang Peternakan. *Proceeding Biology Education Conference (ISSN: 2528-5742), Vol 13(1) 2016: 23-27*.
- Susiyanti, 2003. Pro dan Kontra Tanaman Transgenik. http://tumoutou.net/702_07134/susiyanti.htm. Tanggal akses: diakses 4 Agustus 2019.
- Suwanto, A. 2000. Menyikapi Tanaman Transgenik. <http://www2.kompas.com/kompas-cetak/0002/04/IPTEK/meny09.htm>. Tanggal akses: diakses 4 Agustus 2019.
- Tien, T.M., M.H. Gaskin, and D.H. Hubell. 1979. *Plant growth substances produced by Azospirillum brasilense and their effect on the growth of pearl millet (Pennisetum americanum L.)*. *Appl. Environ. Microbiol.* 37:1016-1024.

- Tri Muji Ermayanti. 2004. *Development of Agricultural Biotechnology in Indonesia*. China-ASEAN Workshop on Conservation and Biotechnology Application of Tropical Biological Resources .
- Wahyuni. 2005. *Dasar-Dasar Virologi Tumbuhan*. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.
- Wardani, A.K., Wijayanti, S.D., Widyastuti, E., (2017) *Pengantar Bioteknologi*. UB Press Redaksi, Malang.
- Watanabe, I. 1979. *Biological nitrogen fixation in rice soils*. p. 465-478. *In: Soils and Rice*. IRRI. Los Banos, Philippines.
- Wattimena , L.W. Gunawan, N.A. Mattjik, E. Syamsudin, N.M.A. Wiendi, dan A. Ermawati. 1992. *Bioteknologi Tanaman*. Laboratorium Kultur jaringan Tanaman. Departemen Pendidikan dan Kebudayaan. Direktorat Jendral Pendidikan Tinggi. PAU Bioteknologi. IPB. Bogor. 309 hal.
- Widyawati, N. 2013. *Urban Farming Gaya Bertani Spesifik Kota*. Lily Publisher. Yogyakarta.
- Yuningsih. 2016. *Bioinsektisida Sebagai Upaya Re-Harmonism Ekosistem*. Universitas Negeri Yogyakarta. Yogyakarta.
- Zulfiani., Juanengsih, N., Noor, F.M. (2013). *Bioteknologi*. UIN Jakarta Press

