



Bioteknologi

Teori dan Aplikasi

Tim Penulis:

**Satya Darmayani - Rudy Hidana - Aminatus Sa'diyah - Pramita Laksitarahmi Isrianto
Hidayati - Dewi Jumiarni - Anggita Rahmi Hafsari - Fransina S Latumahina - Eni Setyowati
Solikah Ana E - Sri Kurniati A - Sudirman Syam - Moh Imam Sufiyanto
Muh Sri Yusal - Theopilus Wilhelmus Watuguly - Victor David Nico Gultom**

Bioteknologi

Teori dan Aplikasi

Satya Darmayani - Rudy Hidana - Aminatus Sa'diyah - Pramita Laksitarahmi Isrianto
Hidayati - Dewi Jumiarni - Anggita Rahmi Hafsari - Fransina S Latumahina - Eni Setyowati
Solikhah Ana E - Sri Kurniati A - Sudirman Syam - Moh Imam Sufiyanto
Muh Sri Yusal - Theopilus Wilhelmus Watuguly - Victor David Nico Gultom

BIOTEKNOLOGI TEORI DAN APLIKASI

Tim Penulis:

**Satya Darmayani, Rudy Hidana, Aminatus Sa'diyah, Pramita Laksitarahmi Isrianto,
Hidayati, Dewi Jumiarni, Anggita Rahmi Hafsari, Fransina S Latumahina, Eni Setyowati,
Solikah Ana E, Sri Kurniati A, Sudirman Syam, Moh. Imam Sufiyanto,
Muh. Sri Yusal, Theopilus Wilhelmus Watuguly, Victor David Nico Gultom**

Desain Cover:

Usman Taufik

Tata Letak:

Aji Abdullatif R

Proofreader:

Aas Masruroh

ISBN:

978-623-6092-48-4

Cetakan Pertama:

Mei, 2021

Hak Cipta 2021, Pada Penulis

Hak Cipta Dilindungi Oleh Undang-Undang

Copyright © 2021

by Penerbit Widina Bhakti Persada Bandung

All Right Reserved

Dilarang keras menerjemahkan, memfotokopi, atau memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini tanpa izin tertulis dari Penerbit.

PENERBIT:

WIDINA BHAKTI PERSADA BANDUNG

(Grup CV. Widina Media Utama)

Komplek Puri Melia Asri Blok C3 No. 17 Desa Bojong Emas
Kec. Solokan Jeruk Kabupaten Bandung, Provinsi Jawa Barat

Anggota IKAPI No. 360/JBA/2020

Website: www.penerbitwidina.com

Instagram: [@penerbitwidina](https://www.instagram.com/penerbitwidina)

PRAKATA

Rasa syukur yang teramat dalam dan tiada kata lain yang patut kami ucapkan selain mengucap rasa syukur. Karena berkat rahmat dan karunia Tuhan Yang Maha Esa, buku yang berjudul “Bioteknologi Teori dan Aplikasi” telah selesai di susun dan berhasil diterbitkan, semoga buku ini dapat memberikan sumbangsih keilmuan dan penambah wawasan bagi siapa saja yang memiliki minat terhadap pembahasan tentang Bioteknologi Teori dan Aplikasi.

Akan tetapi pada akhirnya kami mengakui bahwa tulisan ini terdapat beberapa kekurangan dan jauh dari kata sempurna, sebagaimana pepatah menyebutkan “*tiada gading yang tidak retak*” dan sejatinya kesempurnaan hanyalah milik tuhan semata. Maka dari itu, kami dengan senang hati secara terbuka untuk menerima berbagai kritik dan saran dari para pembaca sekalian, hal tersebut tentu sangat diperlukan sebagai bagian dari upaya kami untuk terus melakukan perbaikan dan penyempurnaan karya selanjutnya di masa yang akan datang.

Terakhir, ucapan terima kasih kami sampaikan kepada seluruh pihak yang telah mendukung dan turut andil dalam seluruh rangkaian proses penyusunan dan penerbitan buku ini, sehingga buku ini bisa hadir di hadapan sidang pembaca. Semoga buku ini bermanfaat bagi semua pihak dan dapat memberikan kontribusi bagi pembangunan ilmu pengetahuan di Indonesia.

Mei, 2021

Tim Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	iv
BAB 1 PENGERTIAN DAN RUANG LINGKUP BIOTEKNOLOGI	1
A. Pendahuluan	1
B. Pengertian bioteknologi	2
C. Sejarah bioteknologi	6
D. Ruang lingkup dan pentingnya bioteknologi	8
E. Perkembangan bioteknologi	12
F. Kelebihan dan kekurangan bioteknologi konvensional dan Modern	14
G. Rangkuman materi	16
BAB 2 PRINSIP DASAR DAN PERKEMBANGAN BIOTEKNOLOGI	19
A. Pendahuluan	19
B. Prinsip dasar bioteknologi	20
C. Jenis bioteknologi	20
D. Prinsip dasar dalam rekayasa genetika	21
E. Perkembangan bioteknologi	23
F. Empat gelombang perkembangan bioteknologi	23
G. Pemanfaatan bioteknologi	24
H. Rangkuman materi	27
BAB 3 BIOTEKNOLOGI KONVENSIONAL	29
A. Pendahuluan	29
B. Kelebihan dan kekurangan bioteknologi	32
C. Teknik dalam bioteknologi	34
D. Bioteknologi bidang pertanian	36
E. Bioteknologi bidang kesehatan	37
F. Bioteknologi bidang lingkungan	37
G. Bioteknologi bidang industri	38
H. Kontroversi penerapan bioteknologi	39
I. Rangkuman materi	40

BAB 4 HIBRIDISASI DAN FERMENTASI	43
A. Pendahuluan	43
B. Rincian pembahasan materi	44
C. Fermentasi.....	49
D. Rangkuman materi	56
BAB 5 BIOTEKNOLOGI MODERN (KLONING DAN REKAYASA GENETIKA PADA HEWAN TERNAK)	63
A. Pendahuluan.....	63
B. Pengertian kloning dan metode kloning	64
C. Rekayasa genetika pada hewan ternak	70
D. Sejarah dan perkembangan kloning pada beberapa species hewan ternak.....	71
E. Manfaat, tantangan dan kekhawatiran produk hasil ternak rekayasa genetik dan kloning	74
F. Rangkuman materi	80
BAB 6 REKAYASA GENETIKA TUMBUHAN	85
A. Pendahuluan.....	85
B. Pengertian rekayasa genetika	86
C. Tujuan rekayasa genetika	87
D. Metode rekayasa genetika	90
E. Kontroversi dalam rekayasa genetika tumbuhan.....	96
F. Rangkuman materi	98
BAB 7 BIOTEKNOLOGI DI BIDANG MAKANAN DAN MINUMAN	101
A. Pendahuluan.....	101
B. Bioteknologi konvensional pada makanan dan minuman	102
C. Bioteknologi modern dalam bioteknologi pangan	105
D. GMO	105
E. Manfaat bioteknologi	109
F. Manfaat kesehatan dan medis dari bioteknologi.....	110
G. Keamanan bioteknologi pangan	111
H. Persyaratan pelabelan	111
I. Langkah apa yang harus dilakukan agar masyarakat bisa menerima produk bioteknologi	112
J. Rangkuman materi	113

BAB 8 BIOTEKNOLOGI UNTUK PENINGKATAN PRODUKTIVITAS HUTAN	115
A. Pendahuluan	115
B. Peranan bioteknologi hutan	117
C. Aplikasi bioteknologi kehutanan di Indonesia	119
D. Rangkuman materi	122
BAB 9 BIOTEKNOLOGI DALAM BIDANG LINGKUNGAN	125
A. Pendahuluan	125
B. Tinjauan bioteknologi lingkungan	127
C. Aplikasi bioteknologi dalam bidang lingkungan	130
D. Rangkuman materi	140
BAB 10 PERKEMBANGAN BIOTEKNOLOGI DALAM BIDANG KESEHATAN	145
A. Pendahuluan	145
B. Antibiotik	146
C. Recombinan insulin	150
D. Vaksin	152
E. Antibodi monoklonal	154
F. Rekayasa genetika	156
G. Rangkuman materi	158
BAB 11 BIOTEKNOLOGI DALAM BIDANG SUMBER DAYA ENERGI	163
A. Pendahuluan	163
B. Sekilas konversi energi terbarukan	165
C. Pengembangan bahan bakar nabati	168
D. Biodiesel dari minyak nabati	171
E. Bahan baku biodiesel	177
F. Teknologi pengolahan biodiesel	179
G. Rangkuman materi	185
BAB 12 ETIKA BIOTEKNOLOGI	189
A. Pendahuluan	189
B. Pendekatan keputusan pembuatan etika	190
C. Etika dan bioteknologi	193
D. Sel dan macam-macam produk	194
E. Aturan pada aspek ekonomi, sains dan komunikasi	204

F. Peraturan-peraturan yang mengatur perkembangan produk-produk bioteknologi	206
G. Rangkuman materi	207
BAB 13 RESIKO BIOTEKNOLOGI	211
A. Pendahuluan	211
B. Manajemen risiko (risk management) bioteknologi	213
C. Dampak menguntungkan kegiatan bioteknologi	217
D. Dampak merugikan kegiatan bioteknologi	231
E. Hak atas kekayaan intelektual (haki) dan produk bioteknologi ..	237
F. Keamanan hayati (biosafety) dalam kegiatan bioteknologi	239
G. Peraturan perundang-undangan negara republik Indonesia yang berkaitan dengan aktivitas bioteknologi	242
H. Rangkuman materi	246
BAB 14 ANTIBODI MONOKLONAL	253
A. Pengantar	253
B. Pendahuluan	254
C. Sejarah produksi monoklonal antibodi (MABS)	255
D. Tujuan utama produksi monoklonal antibodi (MABS)	256
E. Pengembangan antibodi terapeutik untuk pengobatan penyakit	257
F. Aplikasi terapeutik antibodi monoklonal (MABS)	262
G. Penggunaan antibodi monoklonal (MABS) dalam biomedis	267
H. Jenis-jenis antibodi monoklonal (MABS) untuk kepentingan Terapeutik	268
I. Rangkuman materi	272
BAB 15 BIOTEKNOLOGI MODERN (MANIPULASI KROMOSOM)	279
A. Pendahuluan	279
B. Rincian pembahasan materi	280
C. Rangkuman materi	292
GLOSARIUM	294
PROFIL PENULIS	312



PENGERTIAN DAN RUANG LINGKUP BIOTEKNOLOGI

Satya Darmayani, S.Si.,M.Eng

Politeknik Kesehatan Kementerian Kesehatan Kendari

A. PENDAHULUAN

Pada awalnya, bioteknologi diartikan sebagai teknologi yang menggunakan sel hidup, yakni mikroorganisme, untuk menghasilkan suatu produk. Bioteknologi tradisional ini sudah ada sejak lama seperti pada pembuatan keju, minuman anggur, tempe, dan tape. Sedangkan bioteknologi modern (bioteknologi molekular) merupakan teknologi yang memanfaatkan agen hayati atau komponen-komponennya yang telah mengalami rekayasa genetik melalui teknologi DNA rekombinan untuk menghasilkan barang dan atau jasa untuk memenuhi kebutuhan manusia dan lingkungan.

Bioteknologi adalah gelombang ketiga dalam ilmu biologi dan mencerminkan penggabungan ilmu dasar dan ilmu terapan, di mana transformasi bertahap ilmu pengetahuan ke dalam teknologi. Prokariota, ganggang *eukariotik*, *glycophytes* dan *halophytes* semua cenderung untuk memberikan kontribusi dalam proposisi masa depan komersial. Bioteknologi merupakan penerapan biologi, sistem organisme atau proses-

proses untuk memproduksi dan industri jasa, pemahaman biologi pada tingkat sel dan molekuler. Teknik DNA rekombinan meliputi: persiapan antibodi monoklonal, ataupun kultur bioteknologi yang memiliki beberapa definisi dari kelompok yang berbeda.

Bioteknologi di organisme, sukses menggandakan kemampuan produksi bakteri pembuat enzim tertentu dan alcohol. Dan juga, biologi molekuler sudah kita gunakan pula pada peningkatan mutu kesehatan dengan menggunakan monoclonal antibody teknik, vaksin juga diagnostic untuk penyakit-penyakit berisiko ataupun informasi awal terhadap invasi mikroba patogen. Selain di bidang pertanian, industri, kesehatan, penggunaan bioteknologi juga ditemui pada lintas bidang dan ilmu. Contohnya, penggunaan bioteknologi pada reklamasi lahan dan lingkungan sisa tambang dengan memakai pupuk hayati yang tidak merusak lingkungan, mikroba penghancur limbah pabrik, pengurai pestisida dan juga makanan ternak yaitu probiotik.

Kurangnya energy yang kita alami sekarang ini dengan semakin tingginya harga minyak sudah memacu pengembangan bahan bakar alternatif. Biofuel adalah bahan bakar alternative yang dikembangkan di dunia yang sumbernya dari olahan hasil tanaman yang berpondasi pada minyak nabati ataupun biofuel produk dari fermentasi berbagai macam biji tanaman yang berbasis pada etanol.

Sejak berhasil menyelesaikan proyek genom manusia, penggunaan informasi dan teknologi bioteknologi molekuler tidak hanya informasi genom dan DNA, namun terjadi pengembangan ke aspek proteomic serta metabolomic. Ke depannya, tidak dipungkiri lagi kontribusi bioteknologi yang berdasar pada rekayasa genetika dan biomolekuler adalah alternatif primer sebagai solusi persoalan-persoalan kesehatan, energy, pangan, pertanian juga lingkungan agar terwujud kenaikan kesejahteraan rakyat dan bangsa yang mandiri.

B. PENGERTIAN BIOTEKNOLOGI

Istilah bioteknologi pertama kali dikemukakan oleh Karl Ereky, seorang insinyur hongaria, pada tahun 1917 untuk mendeskripsikan produksi babi dalam skala besar dengan menggunakan bit gula sebagai sumber pakannya. Sampai tahun 1970-an bioteknologi selalu berasosiasi dengan rekayasa

biokimia (*biochemical engineering*) dan pada umumnya kuliah-kuliah yang berhubungan dengan bioteknologi juga diberikan oleh Jurusan Rekayasa Kimia atau Rekayasa Biokimia (Suwanto, 1998).

Selama sekitar 45 tahun sejak Karl Ereky memperkenalkan istilah bioteknologi, istilah ini telah dipakai dengan pengertian berbeda oleh pakar yang berbeda sehingga menimbulkan kerancuan. Kerancuan ini berakhir pada 1961 ketika Carl Goren Heden merekomendasikan agar nama suatu jurnal saintifik untuk mempublikasi penelitian dalam bidang mikrobiologi terapan dan fermentasi diubah dari *Journal of Microbiological and Biochemical Engineering and Technology* menjadi *Biotechnology and Bioengineering*. Sejak saat itu, bioteknologi diartikan sebagai: "produksi barang dan jasa menggunakan organisme, sistem, atau proses biologi". Oleh karena itu penelitian bioteknologi sangat bergantung pada mikrobiologi, biokimia, dan rekayasa kimia (Suwanto, 1998).

Menurut Nurcahyo, H. (2011), bermacam-macam batasan dan makna diterangkan oleh beragam institusi untuk mendefinisikan Bioteknologi. Beberapa contohnya akan dibahas singkat sebagai berikut:

1. 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.
2. Bioteknologi merupakan penerapan prinsip-prinsip ilmu pengetahuan dan kerekeyasaan untuk penanganan dan pengolahan bahan dengan bantuan agen biologis untuk menghasilkan bahan dan jasa.
3. Bioteknologi adalah teknik pendayagunaan organisme hidup atau bagian organisme untuk membuat atau memodifikasi suatu produk dan meningkatkan/memperbaiki sifat tanaman atau hewan atau mengembangkan mikroorganisme untuk penggunaan khusus.
4. Sederhananya, bioteknologi adalah pendayagunaan komersial makhluk hidup atau bagiannya seperti enzim.
5. Bioteknologi asalnya dari 2 kata, yaitu 'bio' yang artinya makhluk hidup dan 'teknologi' artinya cara untuk menghasilkan barang atau jasa. Dari 2 kata tersebut *European Federation of Biotechnology* mendefinisikan bioteknologi sebagai gabungan dari ilmu pengetahuan alam dan ilmu rekayasa yang bermaksud dalam peningkatan penerapan organisme

hidup, sel, bagian dari organisme hidup, dan/atau kontrol molekuler untuk memberikan produk dan jasa.

6. Tegasnya dinyatakan, Bioteknologi adalah pemanfaatan terpadu biokimia, mikrobiologi, dan ilmu-ilmu teknik dengan dukungan mikroba, elemen-elemen mikroba atau sel dan jaringan organisme yang lebih di atas dalam penerapannya secara teknologis dan industri.

Menurut Nurcahyo, H. (2011), berdasarkan terminologinya, maka bioteknologi dapat diartikan sebagai berikut:

1. “Bio” memiliki pengertian agen hayati (*living things*) yang meliputi; organisme (bakteri, jamur (*ragi*), kapang), jaringan/sel (kultur sel tumbuhan atau hewan), dan/atau komponen sub-selulernya (enzim).
2. “Tekno” memiliki pengertian teknik atau rekayasa (*engineering*) yaitu segala sesuatu yang berkaitan dengan rancang-bangun, misalnya untuk rancang bangun suatu bioreactor. Cakupan teknik di sini sangat luas antara lain teknik industri dan kimia.
3. “Logi” memiliki pengertian ilmu pengetahuan alam (sains) yang mencakup; biologi, kimia, fisika, matematika dsb. Ditinjau dari sudut pandang biologi (biosains), maka bioteknologi merupakan penerapan (*applied*); biologi molekuler, mikrobiologi, biokimia, dan genetika. Dengan demikian, bioteknologi merupakan penerapan berbagai bidang (disiplin) ilmu (interdisipliner). Oleh karena itu, tidak ada seorang pun yang dapat menguasai seluruh aspek bioteknologi.

Berdasarkan definisi dan pengertian di atas, maka bioteknologi tidak lain adalah suatu proses yang unsur-unsurnya sebagai berikut:

1. Input yaitu bahan kasar (*raw material*) yang akan diolah seperti; beras, anggur, susu, dsb.
2. Proses yaitu mekanisme pengolahan yang meliputi; proses penguraian atau penyusunan oleh agen hayati.
3. Output yaitu produk baik berupa barang dan/atau jasa, seperti; alkohol, enzim, antibiotika, hormon, pengolahan limbah.



Gambar 1.1 Skema Proses Bioteknologi

Apa pun batasan yang diberikan oleh para ahli yang pasti dalam proses bioteknologi terkandung tiga hal pokok:

1. Agen biologis (mikroba, enzim, sel tanaman, sel hewan)
2. Pendayagunaan secara teknologi dan industrial
3. Produk dan jasa yang diperoleh.

Apakah bioteknologi? Istilah ini menyampaikan multitafsir tiap orang. Ada yang berpendapat mengenai pengembangan mikroorganisme baru atau jenis binatang lewat rekayasa genetika atau rekombinasi DNA, lainnya berpikir tentang asal mula obat terapi tetap bagi untuk manusia. Sejumlah orang bahkan mempunyai visi untuk menumbuhkan tanaman yang nutrisinya tinggi juga kebal hama dan penyakit untuk sumber makanan manusia yang semakin meningkat. Berbagai macam tanggapan dari persoalan ini bergantung dengan ditanya. Betulkah semua pengertian ini adalah untuk istilah bioteknologi? Tentu saja bukan. Bioteknologi memiliki pemahaman yang luas.

Teknologi dan biologi adalah gabungan harmonis dari bioteknologi. Secara terminologi, bisa diartikan menjadi memanfaatkan sistem biologi, makhluk hidup dan produknya untuk merubah atau memperbaiki lingkungan dan kesehatan manusia. Kesimpulannya, bioteknologi di definisikan menjadi penerapan pokok-pokok dasar sains dan perekayasaan atas proses material dengan dukungan agen biologi untuk memproduksi bermacam jasa dan barang. Keutamaan bioteknologi telah mengambil alih dan dalam ilmu biologi menjadi revolusi baru, lewat pengaturan produk alami mengganti proses industry dan kimiawi.

Bioteknologi modern bisa diklasifikasikan ke dalam berbagai bidang, seperti bioteknologi, lingkungan, kesehatan, pertanian, industri dan obat-obatan. Bioteknologi ialah ilmu dan sains masa akan datang yang memikat para ilmuwan serta revolusi besar akan hadir dalam hidup kita dengan

memperlihatkan kiat kenyamanan hidup, terhindar dari stress serta penyakit.

Ketika teknologi ini diterapkan pada tingkat industri, mereka merupakan bio-industri yang meliputi, di satu sisi, industri bioteknologi di mana kegiatan dapat menggantikan teknologi normal atau sedang digunakan dan, di sisi lain, kegiatan industri di mana bioteknologi memainkan peranan penting. Ada beberapa area di mana teknologi ini sedang digunakan, yang penting adalah industri kimia, industri makanan (produksi massal ragi, alga dan bakteri untuk menyediakan protein, asam amino, vitamin, dan penggunaan enzim), produktivitas pertanian, industri perlindungan lingkungan dan pengurangan polusi, dan lain-lain.

C. SEJARAH BIOTEKNOLOGI

Kisah penggunaan sistem biologi untuk pemenuhan kebutuhan manusia mungkin dimulai pada 6000 sebelum masehi, ketika bangsa Sumeria dan Babilonia memfermentasi semacam bir. Dimulai dengan fermentasi, penggunaan proses biologi kemudian mengalami banyak perubahan selama berabad-abad. Tapi revolusi terbesar sampai saat ini dimulai pada tahun 1970-an, dan 1980-an ketika produk interaksi antara ilmu pengetahuan dan teknologi muncul lebih luas. Hubungan ini mendapat nama bioteknologi. Fermentasi, produksi antibiotik, roti dan bir termasuk dalam bioteknologi tradisional, sedangkan teknik yang berhubungan dengan kultur sel, fusi, bioproses, rekayasa genetika dll, diberi nama sebagai bioteknologi modern.

Hobbeling (1988) mengemukakan bahwa bioteknologi ialah bukan hal yang baru. Secara sederhana bioteknologi sudah dikenal manusia sejak ribuan tahun lalu. Contohnya, diteknologi pangan yaitu keju, roti dan bir telah ada semenjak abad ke Sembilan belas. Dasar pedoman untuk memproduksi makanan tadi secara umum sama, beberapa bahan dasar ekspos (eksposure) ke rangka renik tertentu akan merubah bahan pokok (anggur, barley, susu atau gandum) jadi produk yang di sukai. Selain membuat bir, bioteknologi juga di aplikasikan di proses pemeliharaan kemurnian tanaman untuk mendapatkan jenis-jenis baru dari bidang pertanian, pemeliharaan kemurnian dan reproduksi binatang. Di bidang medis, dulunya, aplikasi bioteknologi ditunjukkan dengan temuan, insulin,

antibiotic dan vaksin meskipun terbatas jumlahnya karena ketidaksempurnaan proses fermentasi. Perubahan drastis timbul sesudah penemuan bioreaktor oleh Louis Pasteur. Dengan alat ini, produksi vaksin ataupun antibiotic bisa diproduksi massal (Defri, 2008).

Sekarang ini, peningkatan bioteknologi begitu pesat, apalagi di negara maju. Peningkatan ini bisa dilihat dengan penemuan bermacam teknologi, misal, teknologi yang berhubungan dengan rekayasa genetika, kultur jaringan, rekombinan DNA, pengembangbiakan sel induk, dan kloning. Teknologi ini memungkinkan kita untuk memperoleh penyembuhan penyakit-penyakit genetik maupun kronis yang belum dapat disembuhkan, seperti kanker ataupun AIDS. Penelitian di bidang pengembangan sel induk membuat para penderita stroke ataupun penyakit lain yang mengakibatkan kehilangan atau kerusakan jaringan tubuh bisa sembuh seperti semula. Di bidang pangan, dengan memakai teknologi rekayasa genetika, kultur jaringan dan rekombinan DNA, didapatkan tanaman dengan sifat dan produk unggulan sebab memiliki zat gizi yang lebih dibandingkan tanaman lain, serta lebih anti hama ataupun tekanan lingkungan. Penerapan bioteknologi di masa ini juga dapat dilihat pada pelestarian lingkungan hidup. Contohnya, bakteri yang mengurai minyak bumi yang jatuh ke laut, dan penguraian zat-zat yang bersifat toksik (racun) di sungai atau laut dengan memakai bakteri jenis baru. Kini, bioteknologi modern dapat menghasilkan produk-produk yang bersumber dari sel (*cellular product*) dan dapat dilakukan melalui transformasi biologis (*biotransformation*). Terlebih lagi bioteknologi modern dalam prosesnya dapat dipengaruhi serta kontrol sepenuhnya oleh manusia sebagai pelakunya (Defri, 2008).

Sekarang ini, sangat pesat perkembangan bioteknologi, apalagi di Negara berkembang. Pertumbuhan ini sejalan dengan banyaknya teknologi yang ditemukan, contohnya teknologi yang berhubungan dengan rekayasa genetik, rekombinasi DNA, kultur jaringan, pengembangbiakan sel induk dan kloning. Teknologi ini akan membuat kita menghilangkan bermacam penyakit genetik ataupun kronis yang tidak dapat disembuhkan, contohnya kanker dan AIDS. Studi di bidang pengembangan sel induk juga memungkinkan penyakit kelumpuhan atau penyakit lain bisa sembuh seperti semula. Di bidang pangan, dengan rekayasa genetik, diperoleh tanaman dengan sifat dan produk unggulan karena terdapat zat gizi yang

lebih daripada tanaman biasa, juga lebih tahan dari tekanan lingkungan dan hama. Terapan bioteknologi saat ini bisa ditemukan pada pelestarian lingkungan hidup. Contohnya, penguraian minyak bumi yang tercecer ke laut karena bakteri jenis baru. Sekarang ini, bioteknologi modern bisa menghasilkan dari produk sel (*cellular product*) dan bisa dibuat dengan perubahan biologis (*biotransformation*). Terlebih lagi bioteknologi modern pada prosesnya bisa total serta dipengaruhi oleh manusia (Defri, 2008).

D. RUANG LINGKUP DAN PENTINGNYA BIOTEKNOLOGI

Bioteknologi merupakan ilmu terapan dan sudah membuat kemajuan dalam dua bidang utama, yaitu biologi molekuler dan produksi Industri biokimia (termasuk enzim). Kontribusi para Ilmuwan dan Nobel Lauretes adalah land mark di bidang ini. Para ilmuwan kini mengalihkan diri mereka terhadap perusahaan bioteknologi, hal ini telah menyebabkan banyak perkembangan industri bioteknologi. Di Amerika Serikat saja sekitar 225 perusahaan telah dibentuk dan berhasil bekerja, seperti *Biogen, Cetus, Geneatech, Hybritech*, dll. Di dunia, Amerika Serikat, Jepang, dan banyak negara Eropa adalah pemimpin dalam penelitian bioteknologi didorong oleh industrialis. Perusahaan-perusahaan ini bekerja untuk kesejahteraan manusia dan memilih bidang berikut untuk penelitian dan pengembangan :

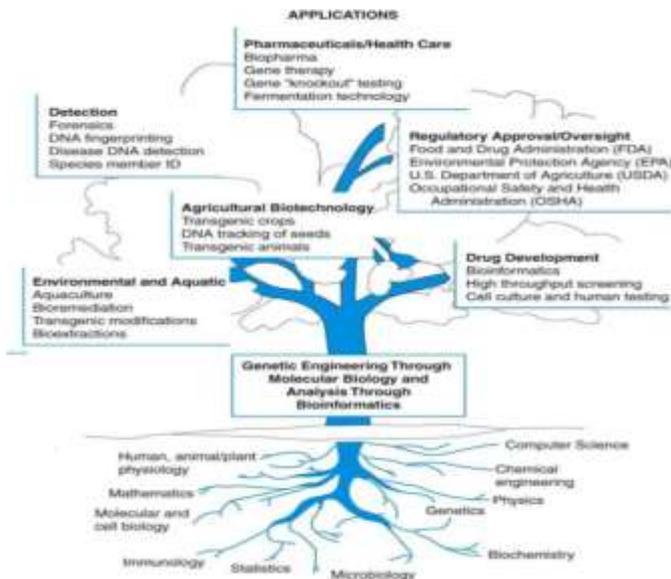
1. Bioscreening otomatis
2. Bioproses alkena untuk oksida berharga dan *glycoles*
3. Mengembangkan sel amobile dan sistem enzim untuk industri proses kimia
4. Teknik serangkaian organisme untuk keperluan industri tertentu
5. Peningkatan genetik mikroorganisme untuk produksi produk farmasi
6. Terapi gen manusia
7. Peningkatan produksi Vitamin B12
8. Produksi fruktosa skala besar dari bentuk glukosa murah
9. Produksi gula sintesis yang berkalori rendah dengan kualitas manis yang sama dengan gula alami (aspartam)
10. Manufaktur etanol secara fermentasi
11. Mikrobiologi berbasis produksi insulin manusia dan interferon.
12. Peningkatan hidrokarbon secara mikrobiologi

13. Produksi dan pengembangan vaksin untuk mencegah calibacillosis (penyakit yang berkembang pada lembu dan babi yang baru lahir)
14. Produksi biopestisida dan pupuk hayati (*biofertilizer*)
15. Produksi kit diagnostik untuk identifikasi *toksoplasmosis*
16. Produksi antibodi monoklonal untuk penentuan jenis jaringan organ transplantasi
17. Produksi tanaman yang efisien dalam fotosintesis
18. Produksi tanaman transgenik dan hewan
19. Produksi xanthan di bidang minyak untuk pemulihan minyak mineral mentah

Salah satu dari banyak tantangan yang akan dihadapi ketika mempelajari bioteknologi yakni berusaha untuk mengumpulkan informasi yang kompleks dari banyak disiplin ilmu yang berbeda. Adalah mustahil untuk berbicara tentang bioteknologi tanpa mempertimbangkan kontribusi penting dari berbagai bidang ilmu pengetahuan. Meskipun fokus utama bioteknologi melibatkan penggunaan biologi molekuler untuk melaksanakan aplikasi rekayasa genetika, bioteknologi bukan ilmu yang tunggal atau sempit. Sebaliknya, adalah bidang yang sangat luas dan benar-benar bergantung pada kontribusi dari banyak bidang biologi, kimia, matematika, ilmu komputer, dan rekayasa di samping disiplin lain seperti filsafat dan ekonomi.

Gambar 1.2 berikut memberikan pandangan diagramatik dari berbagai disiplin ilmu yang berkontribusi terhadap bioteknologi. Perhatikan bahwa "akar" terutama dibentuk oleh pekerjaan dalam penelitian ilmu-dasar menjadi proses dasar dari organisme hidup di tingkat biokimia molekuler, dan genetika. Ketika di satukan, penelitian ilmu pengetahuan dasar dari banyak daerah, dengan bantuan ilmu komputer, dapat menyebabkan pendekatan rekayasa genetika. Di bagian atas pohon, aplikasi dari rekayasa genetika dapat dimasukkan untuk bekerja untuk menciptakan suatu produk atau proses untuk membantu manusia atau lingkungan hidup kita. Contoh sederhana dari sifat interdisipliner bioteknologi dapat diringkas sebagai berikut. pada tingkat ilmu pengetahuan dasar, para ilmuwan melakukan penelitian di bidang mikrobiologi di perguruan tinggi, universitas, instansi pemerintah, atau perusahaan publik atau swasta dapat menemukan gen

atau produk gen pada bakteri yang menjanjikan sebagai agen untuk mengobati suatu penyakit.



Gambar 1.2 Pohon Bioteknologi : Berbagai Disiplin Ilmu Berkontribusi Terhadap Bioteknologi

Ada empat kegiatan utama yang ada pada ruang lingkup bioteknologi, antara lain :

1. Teknologi industri dengan menggunakan reaktor bio,

Dimana mikroba dan enzim menjadi katalis utama, adalah sumbangan yang paling real dalam kegiatan industri yang secara intensif berdampak pada kemajuan ekonomi. Kinerja mikroba dan eksploitasinya dalam industry mikroba dijuluki buruh serba bisa. Berdasar pada kinerja mikroba yang dapat menghasilkan lebih dari 500 macam bahan kebutuhan manusia. Sebagian besar industri dilayani oleh jasa mikroba seperti :

Sektor industri makanan mencakup pengolahan daging, ikan menjadi sari ikan dan kecap. Susu menjadi yoghurt dan keju. Karbohidrat jadi fruktosa. Roti dari gandum, singkong, jagung dan beras. mikroflora alami dan fermentasi menjadi bir, brem, tape, tempe, anggur dan cuka.

Sektor pertanian meliputi produksi vaksin hewan, pangan, kompos organik dan pupuk. Pencarian bermacam tanaman tahan penyakit yang mampu memupuk sendiri dengan perbaikan fiksasi nitrogen, tanaman unggul, *biopestisida*, *bio intraksida*, melebur *lignin* dan *selulosa*, kultur jaringan, penyelamatan paska panen dll.

Sektor energi dari bahan karbohidrat dan sampah organik diolah jadi gas hydrogen, bio gas, etanol, methanol, butanol yang jadi asal energy untuk bahan bakar motor, diesel, masak, lampu, pembangkit listrik dan pemanas ruangan. Sektor farmasi untuk menghasilkan vaksin, antibiotik, enzim, antibody, hormone penawar racun dan inhibitor enzim. Zat-zat yang dibutuhkan untuk diagnose penyakit, kontrasepsi, obat kanker dll.

Sektor industri bahan baku bioteknologi bisa menghasilkan bahan yang sangat murni. Bahan pelarut misalnya acetone, butanol, etanol, metanol, asam sitrat, asam laktat, asam acetat, Vitamin B12, riboflavin, bahan baku parf, dll. Sektor pertambangan dengan bioteknologi keuntungan menambang biji logam yang sedikit kandungannya bisa didapatkan. Misalnya logam dan biji tembaga kadar rendah dapat di ekstrak dengan menggunakan bakteri *Thiobacillus ferro oxidans*.

2. Rekayasa genetika

Langkah pertama pilih gen yang akan memberikan efek positif seperti gen yang tahan dari penyakit tanaman dan hama, gen yang berhubungan dalam fiksasi N dan sebagainya.

- a. Langkah kedua gen yang diinginkan di isolasi dan diidentifikasi.
- b. Langkah ketiga pindahkan gen-gen yang di isolasi ke vector yang sesuai untuk pemindahan gen ke sistim penerima Vector itu plasmid dan virus.
- c. Langkah ke empat pindahkan tanaman yang di regenerasikan dari sel-sel atau jaringan.

3. Peleburan sel dalam upaya manipulasi genetik

Translansi nucleus, ke dalam setiap sel yang menghasilkan embrio dimasukkan semua gen dari nucleus.

4. Pada kultur (media tumbuh) yang cukup mengandung nutrient

Kultur jaringan sel tumbuhan dapat tumbuh. Sel yang di isolasi akan mengembangkan potensi dasarnya = totipotensi ialah prinsip dasar kultur jaringan dan sel.

E. PERKEMBANGAN BIOTEKNOLOGI

3 periode perkembangan bioteknologi, yaitu:

1. Periode bioteknologi tradisional (bioteknologi konvensional)

Di tahap ini, bioteknologi yang menggunakan langsung mikroorganisme dan adanya pemakaian enzim. Proses membuat makanan dengan cara konvensional ini masih simple dan dibuat dalam jumlah yang tidak besar. Penelitian secara ilmiah belum dilakukan manusia pada proses fermentasi yang merubah bahan inti jadi bahan makanan yang tahan lama, adalah hasil dari proses metabolisme mikroorganisme. Di tahap ini, tidak adanya studi tentang peristiwa yang berlangsung, sebab awalnya tidak sengaja.

Peristiwa yang menandai periode ini sebagai berikut:

- a. Tahun 8000 SM, kaum Babilonia, Mesir dan Romawi sudah mengetahui bagaimana menanam yang benar dengan memilih serta mengumpulkan benih yang akan ditanam. Di bidang peternakan, peningkatan kualitas ternak dilakukan dengan cara mengembangbiakkan hewan secara selektif.
- b. Tahun 6000 SM, dengan teknik fermentasi, manusia tahu membuat bir dan anggur. Selain itu, pembuatan roti dengan memakai ragi.
- c. Tahun 4000 SM, kaum Tionghoa sudah menghasilkan yogurt dan keju dari susu dengan bakteri asam laktat.
- d. Tahun 1500 SM, kaum Aztec menggunakan gangga sebagai sumbernya makanan.

2. Periode bioteknologi ilmiah

Kelanjutan dari pengembangan bioteknologi, manusia mulai sadar bahwa peristiwa yang terjadi pada tahap fermentasi tidak terjadi sendiri. karenanya, keingintahuan mendorong mereka untuk melakukan studi yang menerapkan kaidah-kaidah ilmiah.

Banyaknya penelitian ilmiah dalam beragam bidang menandai periode bioteknologi, yaitu:

- a. Tahun 1665, ditemukannya sel oleh Robert Hooke pada irisan gabus yang dilihat menggunakan mikroskop sederhana.
- b. Tahun 1670, memanfaatkan mikroba pada tambang tembaga di Rio Tinto, Spanyol
- c. Tahun 1686, lensa mikroskop yang lebih modern ditemukan oleh Antony Van Leeuwenhoek bisa dipakai melihat mikroba. Karena penemuan itu, dia menjadi manusia pertama yang melihat mikroba. Sesudah ditemukannya lensa mikroskop itu, semakin pesatnya studi tentang mikroorganisme.
- d. Tahun 1800, Nikolai I. Vavilov membuat studi yang menyeluruh mengenai perkembangbiakan binatang.
- e. Tahun 1856-1865, dengan menggunakan tanaman kacang ercis, Gregor Mendel mengawali penelitian genetika tumbuhan. Dari studi itu Mendel menemukan hukum mewariskan sifat induk pada turunannya.
- f. Tahun 1870, mikroba pada makanan dan minuman ditemukan oleh Louis Pasteur, yang menjadi awal berkembangnya mikrobiologi
- g. Tahun 1890, penemuan alkohol yang dapat digunakan untuk bahan bakar motor
- h. Tahun 1897, mengubah gula menjadi alcohol dengan memakai enzim dari ekstrak ragi ditemukan oleh Eduard Buchner
- i. Tahun 1912 - 1915, di inilah penggunaan mikroba dipakai dalam teknik pengolahan limbah. Mulai ditemukannya produksi aseton, butanol, dan gliserol dengan memakai bakteri
- j. Tahun 1919, "bioteknologi" sudah mulai dipakai berkat seorang insinyur berkebangsaan Hongaria bernama Karl Ereky
- k. Tahun 1928, zat antibiotik "*penisillin*" ditemukan oleh Alexander Fleeming.
- l. Tahun 1953, Crick dan Watson menemukan struktur asam deoksiribonukleat (ADN)
- m. Pada tahun 1994, penisillin dalam jumlah besar mulai di produksi.

3. Periode bioteknologi modern

Berkembangnya bioteknologi modern berdasar hasil studi ilmiah diketahui dapat menghasilkan produk yang efektif dan efisien.

Periode bioteknologi modern dimulai dengan perkembangan pesatnya genetika, yaitu:

- a. Teknik rekayasa genetik pada tahun 1970-an. Dengan temuan enzim endonuklease restriksi oleh Dussoix dan Boyer, Era rekayasa genetik dimulai. Enzim itu membuat kita dapat memotong DNA, mengisolasi gen dari kromosom suatu organisme, dan memasukkan potongan DNA lain yang disebut dengan teknik DNA rekombinan.
- b. Setelah penemuan enzim endonuklease restriksi, pada tahun 1976 proyek bahan bakar alkohol dari Brazil dan teknologi hibridoma yang memproduksi antibodi monoklonal dimulai.
- c. Pada tahun 1980, Rank Hovis Mc. Dougall telah diizinkan untuk menjual produk jamur yang bisa dimakan manusia.
- d. Peranan teknologi rekayasa genetik saat ini begitu dirasa dengan dibolehkannya pemakaian insulin hasil percobaan rekayasa genetik untuk mengobati diabetes di Amerika Serikat di tahun 1982. Insulin buatan diproduksi oleh perusahaan Eli Lilly Company.
- e. Pada tahun 2000-2005, dimulai dan berhasilnya proyek genom manusia, sehingga peta genom manusia bisa dibuat lengkap. Sampai sekarang ini, studi dan temuan yang berkaitan dengan rekayasa genetik terus dibuat. Misal, dihasilkan organisme transgenik studi genom makhluk hidup.

F. KELEBIHAN DAN KEKURANGAN BIOTEKNOLOGI KONVENSIONAL DAN MODERN

Bioteknologi mempunyai kelebihan dan kekurangan untuk masyarakat beserta lingkungan. Perubahan sosial, budaya dan etika di kalangan masyarakat ditimbulkan oleh bioteknologi. Pilihan kita bertambah sejak adanya hasil rekayasa genetika. Persoalan yang muncul ialah karena teknologi gen ini berasal dari satu organisme dapat disisipkan ke lainnya. Persoalan ini berasal dari gen karena berhubungan dengan pola makan atau agama yang tidak membolehkan atau menggunakan organisme tertentu masuk ke organisme lainnya.

Rancangan obat-obatan dan kesehatan berkaitan erat dengan pangan dan lingkungan. Kelaparan dan gizi buruk berdampak langsung pada penyakit dan kematian. Isu etika dalam penerapan bioteknologi kesehatan jadi sangat dikenal sesudah proyek genom manusia telah rampung dan dipublikasikan. Mampukah bioteknologi sembuhkan setiap orang sakit? justru terdapat keresahan bahwa bioteknologi akan membuat jarak pemisah semakin jauh antara kaya dan miskin. Hak paten obat-obatan produk rekayasa molekuler menghambat orang kurang mampu untuk akses kesehatan modern. Tetapi, mesti dilakukan pendekatan yang sepadan dan masuk akal supaya masyarakat dari Negara kurang mampu bisa mendapat keuntungan juga seperti saham dari perkembangan teknologi ini. Misalnya karena sumber daya genetic berasal dari Negara yang kurang mampu dan sedang berkembang.

1. Kelebihan Bioteknologi

Bioteknologi mempunyai kontribusi nyata dalam mengatur dan memperbaiki kualitas lingkungan hidup. Sekarang ini, bioteknologi dikhususkan untuk pengelolaan limbah *domestic*, pertambangan, industri, pertanian dan lainnya. Pengelolaan bioteknologi bukan saja mengamankan dan menyelamatkan materi-materi terbuang, namun juga daur ulang dengan sistem efektif yang dikembangkan, dapat memproduksi sumber energi dan *alternative* bahan makanan. tumpahan minyak yang mengakibatkan air laut tercemar yang berasal dari kapal tangki berdampak *negative* pada biota laut dan sangat lama untuk dibersihkan. Memanfaatkan mikroorganisme transgenik agar merombak cemaran minyak ialah fungsi lain dari ampuhnya bioteknologi untuk lingkungan. Dan juga, kapabilitas mikroba *Thiobacillus ferrooxidans* untuk membersihkan logam dari biji yang mutunya jelek ialah kelebihan dari bioteknologi. Emas, uranium dan tembaga bisa di ekstraksi secara efektif dari limbah mineral sehingga rusaknya lingkungan lebih minim.

Keuntungan yang didapat dari pembaruan bioteknologi industri secara ekonomi dapat dibuat pada jumlah kecil tanpa infrastruktur yang besar. Penerapan bioteknologi yang hebat pun bisa disesuaikan sehingga dapat dilaksanakan dengan dana minimal, dengan pengorbanan kualitas produk yang nihil. Dengan ini, walaupun di Negara berkembang, bioteknologi dapat

diterapkan. Tentu saja dengan mempertimbangkan efeknya terhadap strata social dan kehidupan masyarakat, juga bantuan perangkat lunak seperti sistem informasi, orang yang terlatih berkualitas dan lainnya.

2. Kekurangan Bioteknologi

Efek buruk bioteknologi begitu terasa bagi negara miskin dan berkembang, apalagi terhadap social, ekonomi, hukum dan lingkungan. Produk bioteknologi akan bersaing dengan produk Negara itu yang masih tergantung pada ekspor, misalkan produk material alami dan tanaman.

Produk bioteknologi yang punya hak paten seperti tanaman transgenik mengakibatkan jarak yang timbul semakin jauh antara petani berdasar dan petani tradisional. Investor bermodal besar akan menguasai pertanian dan mengusir petani-petani tradisional yang hanya punya sedikit modal. Akibatnya, beban hidup petani tradisional yang sudah miskin akan bertambah karena teknologi baru ini. Tanaman transgenik tidak dapat di budi dayakan orang lain karena hak paten. Karena bioteknologi pula, di setiap musim tanam, petani begitu tergantung pada benih-benih bibit unggul. Menyimpan benih untuk penanaman yang akan datang tidak bisa dilakukan petani. Hak paten mengharuskan penggunaan benih sekali saja. Benih hasil panen tidak diperbolehkan lagi untuk penanaman.

G. RANGKUMAN MATERI

Pemanfaatan sistem hidup atau organisme untuk mencari solusi persoalan agar menghasilkan produk bermanfaat adalah bioteknologi. Jadi, karena teknologi ini sudah ada sejak peradaban manusia, bioteknologi bukanlah terobosan yang revolusioner. Beragam ilmu dan teknologi yang membantu bioteknologi ialah biologi sel, genetika, teknologi bio informatika dan biologi komputasi, teknologi rekayasa genetika, teknologi rekayasa protein, teknologi biofisika, teknologi biosensor, teknologi antibodi monoklonal, teknologi sel dan kultur jaringan mikrobiologi, biokimia, imunologi, teknologi rekayasa biokimia, bioteknologi pangan, bioteknologi lingkungan. Bioteknologi mempunyai kelebihan dan kekurangan pada kehidupan masyarakat beserta lingkungan. Kelebihannya, ialah untuk menghasilkan variasi tanaman unggul yang dirancang sehingga kebal terhadap herbisida, anti-hama, penyakit dan virus, tahan garam atau

kekeringan, menaikkan kualitas dan produktivitas, juga yang mengandung vaksin atau nutrisi lain supaya mencegah kelaparan dan penyakit akibat gizi buruk juga memperbaiki mutu lingkungan hidup. Adapun kekurangannya adalah kurangnya pengaruh bioteknologi bagi negara-negara yang sedang berkembang maupun kurang mampu. Hak paten untuk produk bioteknologi menimbulkan jarak yang besar antara petani tradisional dan petani berdasar. Alhasil, teknologi baru bukannya meningkatkan pendapatan petani tradisional yang sudah kurang mampu, tetapi justru menambah beban hidupnya. Dampak negatif dari bioteknologi lainnya adalah terganggunya keseimbangan lingkungan, sosial, hukum, dan ekonomi negara-negara yang sedang berkembang maupun miskin. Bioteknologi mempunyai kekurangan dan kelebihan di kehidupan masyarakat serta lingkungannya. Kelebihannya antara lain untuk memproduksi variasi tanaman unggul yang dibuat sehingga kebal herbisida, anti-hama, penyakit, virus, tahan garam dan kekeringan, produktivitas dan kualitas meningkat juga yang mengandung vaksin atau varian nutrisi untuk menghindari kelaparan dan penyakit karena gizi buruk, dan perbaikan mutu lingkungan. Adapun kekurangan ialah sedikitnya efek bioteknologi pada Negara yang sedang berkembang dan miskin. Hak paten mengakibatkan jarak yang semakin jauh antara petani berdasar dan petani tradisional. Akibatnya, bioteknologi justru membuat beban hidup petani tradisional justru bertambah bukannya meningkatkan pendapatannya. Dampak negative lainnya ialah ketidakseimbangan lingkungan, sosial, ekonomi dan hukum Negara yang sedang berkembang ataupun kurang mampu.

TUGAS DAN EVALUASI

1. Apa yang dimaksud dengan bioteknologi?
2. Apa perbedaan antara bioteknologi tradisional dan bioteknologi modern?
3. Sebutkan 4 kegiatan utama yang ada pada ruang lingkup bioteknologi?
4. Jelaskan secara singkat kelebihan dan kekurangan bioteknologi konvensional dan modern?
5. Sebutkan beberapa ilmu dan teknologi yang membantu bioteknologi?

DAFTAR PUSTAKA

- Defri. 2008. Sejarah Bioteknologi. (Online), (<http://id.shvoong.com/tags/sejarah-bioteknologi>, diakses tanggal 3 Januari 2021).
- Hobbelink, henk.1988. Bioteknologi dan Pertanian Dunia Ketiga. Yayasan Obor Indonesia : Jakarta.
- Kusnadi. 2014. *Buku Teks Mikrobiologi*. <http://file.upi.edu/Direktori/FPMIPA/>. Diunduh 21 Januari 2021.
- Nugroho, E.D., Dan Rahayu, D.A. 2018. *Pengantar Bioteknologi (Teori Dan Aplikasi)*. Penerbit: Deepublish. Yogyakarta.
- Nurchahyo, Heru. 2011. *Diktat Bioteknologi*. Jurusan Pendidikan Biologi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Negeri Yogyakarta. Yogyakarta.
- Pabendon , Marcia Bunga. 2013. *Peran Penelitian Bioteknologi Menunjang Pertanian Bioindustri*. Seminar Nasional Serealia. Balai Penelitian Tanaman Serealia.
- Pratiwi, D. A., Maryati Sri, Srikini, Suharno, S. Bambang. 2006. *Biologi SMA Jilid III*. Penerbit: Erlangga. Jakarta.
- Saudale, F.Z., 2020. *Bioteknologi*. Penerbit: Literasi Nusantara. Malang.
- Sudjadi. 2008. *Bioteknologi Kesehatan*. Kanisius. Yogyakarta.
- Suwanto, Antonius. 1998. *Bioteknologi Molekuler: Mengoptimalkan Manfaat Keaneka-an Hayati Melalui Teknologi DNA Rekombinan*. Hayati Vol.5. No.1: hal 25-28.
- Wardani, A.K., Wijayanti S.D., Widyastuti, E. 2017. *Pengantar Bioteknologi*. Penerbit: UB Press. Malang.



BAB
2

PRINSIP DASAR DAN PERKEMBANGAN BIOTEKNOLOGI

Dr. Rudy Hidana, M.Pd.

STIKes Bakti Tunas Husada Tasikmalaya

A. PENDAHULUAN

Bioteknologi merupakan suatu usaha terpadu dari berbagai disiplin ilmu untuk mengolah bahan baku dengan memanfaatkan mikroorganisme dan komponen-komponen lainnya untuk menghasilkan barang dan jasa. Pada masa lalu bioteknologi selalu diartikan sebagai teknologi fermentasi.

Salah satu ciri dari bioteknologi adalah digunakannya agen biologi dalam proses tersebut. Agen biologi tersebut dapat berupa mikroorganisme, hewan, tumbuhan, atau bagian dari makhluk hidup tersebut.

Perkembangan bioteknologi sangat dipengaruhi oleh perkembangan ilmu-ilmu dasar, seperti perkembangan mikrobiologi, genetika, dan biokimia. Mikrobiologi mempunyai peranan sangat penting karena studi awal mengenai manipulasi genetika dilakukan terhadap kelompok mikroorganisme.

Mikrobiologi bukan satu-satunya ilmu dasar yang berperan penting dalam pengembangan bioteknologi. Genetika dan biokimia juga berperan penting. Genetika beserta pemahaman mengenai pola pewarisan sifat dan

substansi genetik menjadi dasar dalam teknologi rekombinasi DNA, persilangan, dan mutasi. Biokimia memberikan dasar pemahaman mengenai struktur genetik dan makromolekul lain misal enzim.

Pada akhirnya mikrobiologi, genetika, dan biokimia berkembang secara simultan dan saling mempengaruhi sehingga mendorong perkembangan bioteknologi. Ketiga ilmu dasar tersebut mendukung perkembangan biologi molekuler sebagai suatu disiplin ilmu baru yang melandasi pengetahuan mengenai makhluk hidup dilihat dari molekul pembentuknya.

B. PRINSIP DASAR BIOTEKNOLOGI

Bioteknologi merupakan proses pemanfaatan agen hayati untuk menghasilkan produk yang bermanfaat bagi manusia. Agen hayati yang biasa digunakan adalah mikroorganisme seperti bakteri dan jamur, karena perkembangbiakannya relatif cepat, mudah dimodifikasi, dan mampu memproses bahan baku lebih cepat.

Berdasarkan pengertian bioteknologi tersebut, maka terdapat 4 prinsip dasar bioteknologi, yaitu 1) penggunaan agen biologi, 2) menggunakan metode tertentu, 3) dihasilkannya suatu produk turunan, dan 4) melibatkan banyak disiplin ilmu.

Beberapa disiplin ilmu yang terlibat yaitu bidang beberapa cabang biologi dan ilmu kimia yang mendukung kemajuan dan perkembangan bioteknologi antara lain: sitologi, fisiologi, mikrobiologi, bio molekuler, genetika, biokimia dan teknik kimia, pengolahan makanan, bidang kesehatan, bidang pertanian dan perkebunan, serta bidang lingkungan.

C. JENIS BIOTEKNOLOGI

Bioteknologi ada 2 jenis, yaitu bioteknologi konvensional dan bioteknologi modern. Bioteknologi konvensional menerapkan biologi, biokimia, atau rekayasa masih dalam tingkat yang terbatas, menggunakan jasad hidup secara utuh.

Ciri atau sifat bioteknologi konvensional antara lain masih menerapkan teknik-teknik biologi, bioteknologi, dan rekayasa genetika yang terbatas menggunakan mikroorganisme seadanya, belum mengembangkan teknik

sampai tingkatan molekuler yang terarah, belum sepenuhnya steril, jumlah produknya relatif sedikit, serta kualitasnya belum terjamin.

Fermentasi merupakan salah satu contoh dari penerapan bioteknologi konvensional dan telah digunakan dalam menghasilkan produk baik dalam skala kecil maupun industri besar, misalnya tauco, kecap, minuman anggur, dan sake.

Bioteknologi modern telah menggunakan teknologi teknik rekayasa tingkat tinggi dan terarah sehingga hasilnya dapat dikendalikan dengan baik. Teknik yang sering digunakan adalah dengan melakukan manipulasi genetik pada suatu jasad hidup secara terarah sehingga diperoleh hasil sesuai dengan yang diinginkan.

Teknik yang digunakan dalam bioteknologi modern adalah teknik manipulasi bahan genetik DNA secara invitro, yaitu proses biologi yang berlangsung di luar sel atau organisme, misal dalam tabung percobaan. Oleh karenanya bioteknologi modern juga di kenal dengan rekayasa genetika, yaitu proses yang ditujukan untuk menghasilkan organisme transgenik. Organisme transgenik adalah organisme yang urutan informasi genetik dalam kromosomnya telah di ubah sehingga mempunyai sifat menguntungkan yang dikehendaki.

D. PRINSIP DASAR DALAM REKAYASA GENETIKA

1. DNA Rekombinan

Perubahan susunan DNA diperoleh melalui teknik DNA rekombinan yang melibatkan bakteri atau virus sebagai perantara. Proses DNA rekombinan melalui 3 tahapan, yaitu 1) mengisolasi DNA, 2) memotong dan menyambung DNA 3) memasukkan DNA ke dalam sel hidup.

Pemotongan gen dalam satu untai DNA menggunakan enzim endonuklease restriksi yang berperan sebagai gunting biologi. Segmen DNA kemudian dimasukkan dalam suatu perantara berupa plasmid atau virus. Plasmid adalah rantai DNA melingkar di luar kromosom bakteri.

Gen atau DNA yang telah diisolasi kemudian dicangkokkan ke dalam plasmid. Proses ini di kenal sebagai transplantasi gen. Penyambungan gen tersebut menggunakan enzim ligase yang berperan sebagai lem biologi. Dengan demikian diperoleh organisme dengan rantai DNA gabungan atau kombinasi baru sehingga rantai DNA ini disebut DNA rekombinan. DNA baru

yang telah membawa segmen DNA cangkokkan selanjutnya memasuki tahap akhir yaitu dimasukkan ke dalam perantara sel bakteri maupun virus.

2. Fusi Protoplasma

Fusi protoplasma adalah penggabungan 2 sel dari jaringan yang sama (organisme berbeda) dalam suatu medan listrik. Fusi protoplasma pada tumbuhan melalui tahap-tahap, 1) menyiapkan protoplasma dari sel-sel yang masih muda karena dinding sel tipis serta protoplasma yang banyak dan utuh, 2) mengisolasi protoplasma sel dengan cara menghilangkan dinding selnya dengan menggunakan enzim kemudian dilakukan penyaringan dan sentrifugasi berkali-kali, 3) Protoplasma yang di dapat kemudian di uji viabilitasnya dengan cara melihat aktivitas organel, misal melihat aktivitas fotosintesisnya.

Fusi protoplasma pada sel hewan dan manusia sangat berguna terutama untuk menghasilkan hibridoma. Hibridoma merupakan hasil fusi yang terjadi antara sel pembentuk antibody dan sel mieloma. Sel pembentuk antibody ini adalah sel limfosit B, sedangkan sel mieloma sendiri merupakan sel kanker. Sel hibridoma yang dihasilkan dapat membelah secara tidak terbatas seperti sel kanker, tetapi juga menghasilkan antibody seperti sel-sel limfosit B.

Hibridoma yang dihasilkan di seleksi karena setiap sel menghasilkan antibody yang sifatnya khas. Satu antibody yang dihasilkan spesifik untuk satu antigen. Setiap hibrid ini kemudian diperbanyak atau di kloning. Oleh karena antibody ini berasal dari satu klon maka antibody ini disebut antibody monoklonal.

3. Kultur Jaringan

Teori yang melandasi teknik kultur jaringan ini adalah teori Totipotensi, yaitu kemampuan untuk tumbuh menjadi individu baru bila di tempatkan pada lingkungan yang sesuai. Tahap-tahap kultur jaringan dalam membentuk embrio dari sel somatik serupa pada tahap perkembangan zigot menjadi embrio. Perkembangan tersebut di mulai dari; 1) sel, 2) globular, 3) bentuk jantung, 4) bentuk torpedo, 5) bentuk kotiledon, 6) bentuk plant let.

Kultur jaringan merupakan perbanyakan vegetative menggunakan jaringan atau sel pada medium buatan berupa agar-agar yang diperkaya dengan hormon, vitamin, dan unsur hara. Kultur jaringan merupakan salah satu alternatif untuk mendapatkan tanaman baru yang mempunyai sifat sama dengan induknya. Teknik ini hanya membutuhkan jaringan maupun sel dari tumbuhan dan akan didapatkan tanaman sejenis dalam jumlah besar. Kultur jaringan sering di sebut sebagai perbanyakan secara *invitro* karena jaringan di tanam atau di kultur pada suatu media buatan.

E. PERKEMBANGAN BIOTEKNOLOGI

Revolusi bioteknologi diawali dengan penemuan struktur heliks molekul DNA oleh Watson dan Crick (1953) melejit pesat di pertengahan tahun 1970-an dengan berkembangnya rekayasa genetika. Perkembangan ini menjadikan bioteknologi sebagai bidang antar disiplin yang memberi harapan untuk memecahkan problem yang dihadapi umat manusia.

Di awal abad 21 ini bioteknologi telah menjadi salah satu penopang kegiatan industri terutama di negara maju. Sebaliknya penerapan dan pengembangannya di negara berkembang masih banyak menghadapi masalah dan dilema. Hal ini karena bioteknologi memerlukan padat modal dan padat teknologi untuk penelitian dan penerapannya.

F. EMPAT GELOMBANG PERKEMBANGAN BIOTEKNOLOGI

1. Gelombang Pertama

Tahap ini di kenal juga sebagai era pra-pasteur, yang dicirikan oleh pemanfaatan mikroba (bakteri, kapang, khamir) untuk pengawetan dan pembuatan makanan/minuman. Minuman khas Jepang (sake), bir, anggur, keju, yoghurt, dan pangan tradisional dari Indonesia (tempe, oncom, kecap) merupakan contoh hasil proses bioteknologi tradisional. Sampai tahun 1920-an penggunaan mikroba juga dikembangkan untuk produksi bahan kimia (*aseton, butanol, asam sitrat*) dan *biomassa*.

2. Gelombang Kedua

Bioteknologi generasi kedua ini dimulai ketika ditemukan *pinisilin* oleh Fleming (1929) dan permulaan pengusahaannya dalam bentuk industri pada tahun 1944. Pada era ini dan sampai sekarang kegiatan

bioteknologi diwarnai oleh proses produksi industri antibiotika, vitamin, dan asam-asam organik dengan fermentasi. Generasi kedua ini juga dikenal sebagai era antibiotika.

3. Gelombang Ketiga

Bioteknologi generasi ketiga melesit secara pesat pada paruh tahun 1970-an dengan diterapkannya rekayasa genetika untuk memanipulasi dan memperbaiki sifat organisme sebagai “agen” yang berperan penting dalam bio industri. Berbagai produk farmasi dan kedokteran yang bernilai tinggi seperti interferon, hormon, dan vaksin diproduksi berkat rekayasa genetika ini. Teknologi hibridoma yang ditemukan Kohler dan Milstein (1975) membuka era ini untuk produksi antibody monoklonal. Kekhasan ini menyebabkan tahapan ini juga dinamai bioteknologi baru.

4. Gelombang Keempat

Gelombang ini dicirikan dengan perekayasa struktur enzim yang dikaji dalam bidang protein engineering. Perkembangan proses bioteknologi tidak lepas dari peran enzim sebagai bio katalis. Pengkajian sifat dan kinetika reaksi enzimatik dan perkembangan peralatan analisis, seperti kristalografi sinar X dan spektrofotometer massa yang ditopang oleh rekayasa genetika telah memungkinkan ahli biokimia merekayasa enzim sesuai sifat yang diinginkan. Generasi keempat ini juga dikenal sebagai era rekayasa enzim/protein.

G. PEMANFAATAN BIOTEKNOLOGI

Bioteknologi Dalam Produksi Pangan

1. Makanan Bahan Susu, prinsipnya adalah memfermentasikan susu menghasilkan asam laktat. Contoh :
 - a. Keju : *Propiobacterium* (bakteri asam laktat) yang juga berperan memberi rasa dan tekstur keju.
 - b. Yogurt : *Lactobacillus bulgans*, pemberi rasa dan asam; *Streptococcus thermophilus*, menambah keasaman; *Laucanostoc cremoris*, mentega.

2. Makanan Non Susu, prinsipnya adalah pemecahan amilum oleh mikroba menghasilkan gula yang kemudian difermentasikan.

Contoh : Roti, asinan, dan alkohol (bir, anggur, wine, rum) oleh ragi. Kecap oleh *Aspergillus oryzae*. Nata de coco oleh *Acetobacter xilmum*. Cuka oleh *Acetobacter aseti*.

Protein sel tunggal : makanan yang berkadar protein tinggi berasal dari mikroorganisme *mikroprotein* dari *Fusarium*, *Spirulina*, dan *Chorella*.

Kelebihan : Kadar protein lebih tinggi dari protein kedelai atau hewan, pertumbuhannya lebih cepat.

Bioteknologi Dalam Bidang Industri

1. Asam sitrat, fermentasi tetes gula dan sirup oleh *Aspergillus niger*. Pemberi cita rasa, pengemulsi susu, dan anti oksidan, banyak terdapat pada jeruk.
2. Vitamin, B1 oleh *Assbya gossipii*, B12 oleh *Propionibacterium* dan *Pseudomonas*.
3. Enzim :
 - a. Amilase : digunakan dalam produksi sirup, kanji, glukosa. Glukosa *isomerase* mengubah amilum menjadi fruktosa. Fruktosa digunakan sebagai pemanis makanan menggantikan sukrosa. Mikroba : *Aspergillus niger*, *Aspergillus oryzae*, *Bacillus subtilis*.
 - b. Protease : digunakan antara lain dalam produksi roti, bir. *Protease* proteolitik berfungsi sebagai pelunak daging dan campuran detergen untuk menghilangkan noda protein. Mikroba : *Aspergillus oryzae*, *Bacillus subtilis*.
 - c. Lipase : digunakan dalam produksi susu dan keju, untuk meningkatkan cita rasa. Mikroba : *Aspergillus niger*, *Rhyzopus sp*.
 - d. Asam amino; Asam glutamat : bahan utama MSG (*Monosodium Glutamat*). Lisin: asam amino esensial, dibutuhkan dalam jumlah besar oleh ternak. Mikroba : *Corynebacterium glutamicum*.

Bioteknologi Dalam Kedokteran dan Produksi Obat

1. Antibodi Monoklonal, antibodi sejenis yang diproduksi oleh sel plasma klon sel-sel B sejenis. Antibodi ini di buat oleh sel-sel hibridoma yang

di kultur. Bertindak sebagai antigen yang akan menghasilkan antibodi adalah limpa. Fungsi : diagnosis penyakit dan kehamilan.

2. Antibiotik, dipelopori oleh Alexander Fleming dengan penemuan *penisilin* dari *Penicillium notatum*. *Penicillium chrysogenum* memperbaiki penisilin yang sudah ada, dilakukan dengan mutasi secara iradiasi ultra violet dan sinar X. *Chepalosporium* : Penisilin N, *Sefalosporin* C. *Streptomyces* : *streptomisin*, untuk pengobatan TBC.
3. Interferon, antibodi terhadap virus. Secara alami hanya di buat oleh tubuh manusia. Proses pembentukan di dalam tubuh memerlukan waktu cukup lama, karena itu dilakukan rekayasa genetika.
4. Vaksin, Secara konvensional pelemahan kuman dilakukan dengan pemanasan atau pemberian bahan kimia. Dengan bioteknologi dilakukan fusi atau transplantasi gen. Contoh : Vaksin Hepatitis B.

Bioteknologi Dalam Pemberantasan Hama

1. *Bacillus thuringiensis*, menghasilkan *bioinsektisida* yang toksin terhadap larva serangga. Transplantasi gen penghasil toksin pada tanaman menghasilkan tanaman yang bersifat resisten hama serangga. Kristal (Racun BT) di olah menjadi bentuk yang dapat disemprotkan ke tanaman. Racun akan merusak saluran pencernaan serangga.
2. *Baculovirus sp*, virus disemprotkan ke tanaman. Bila termakan, serangga akan mati dengan sebelumnya menyebarkan virus melalui perkawinan.

Bioteknologi Dalam Perbaikan Kualitas Makanan Dan Tanaman

1. Flavr Savr, tomat yang sulit/lama busuk. Tomat di buat lebih resisten terhadap pembusukan dengan menambahkan gen *antisense* yang mengganggu produksi enzim pendegradasi pektin dan dinding sel dan akibat dari pekerjaan ini tomat menjadi lebih peka terhadap serangan infeksi fungi.
2. Golden Rice, satu jenis padi yang di buat melalui rekayasa genetika untuk biosintesis beta-karotene, *precursor* pro-vitamin A pada bagian beras.

Bioteknologi Dalam Menyelesaikan Masalah Pencemaran:

1. Pencemaran oleh minyak, *strain-strain Pseudomonas* mengkonsumsi hidrokarbon oleh rekayasa genetika membentuk bakteri super yang mengandung 4 jenis plasmid pembawa gen untuk konsumsi hidrokarbon.
2. Limbah organik, dapat diuraikan oleh bakteri aerob atau anaerob.

H. RANGKUMAN MATERI

Bioteknologi adalah penggunaan biokimia, mikrobiologi, dan rekayasa genetika secara terpadu untuk menghasilkan barang atau lainnya bagi kepentingan manusia. Biokimia mempelajari struktur kimiawi organisme. Rekayasa genetika adalah aplikasi genetik dengan mentransplantasi gen dari satu organisme ke organisme lain. Ciri utama bioteknologi, 1) adanya agen biologis berupa mikroorganisme, tumbuhan atau hewan, 2) adanya pendayagunaan secara teknologi dan industri, 3) produk yang dihasilkan adalah hasil ekstraksi dan pemurnian.

Perkembangan bioteknologi, 1) gelombang pertama, penggunaan mikroba masih secara tradisional, dalam produksi makanan dan tanaman serta pengawetan makanan, contoh pembuatan tempe, tape, cuka, 2) gelombang kedua, proses berlangsung dalam keadaan tidak steril, contoh produksi bahan kimia aseton dan asam sitrat, 3) gelombang ketiga, proses dalam kondisi steril, contoh produksi antibiotik dan hormon, 4) gelombang keempat, bioteknologi generasi baru, contoh produksi *insulin*, *interferon*, antibodi monoklonal.

TUGAS DAN EVALUASI

1. Uraikan tentang prinsip dasar bioteknologi?
2. Uraikan tentang jenis bioteknologi?
3. Uraikan tentang prinsip dasar rekayasa genetika?
4. Uraikan tentang 4 gelombang perkembangan bioteknologi?
5. Uraikan tentang pemanfaatan bioteknologi?

DAFTAR PUSTAKA

- Estianti, A. & Herman, M. (2015). Regulasi Keamanan Hayati Produk Rekayasa Genetika di Indonesia. Analisis Kebijakan Pertanian, Vol. 13 No. 2.
- Fahmideh, L., Khodadadi, E., (2014). A Review of Applications of Biotechnology in the Environment. International Journal of Farming and Allied Science, Vol. 3 No. 12.
- Kementerian Kesehatan RI. (2018). Indonesia Jadi Center of Excelent: Momentum Baru Bagi Negara-Negara Islam Dalam Pengembangan Vaksin dan Produk Bioteknologi.
- Mahrus, (2014). Kontroversi Produk Rekayasa Genetika Yang Di Konsumsi Masyarakat. Jurnal Biologi Tropis. Vol. 14 No. 2
- Pabendon, M.B. (2013). Peran Penelitian Bioteknologi Menunjang Pertanian Bioindustri. Seminar Nasional Serealia.
- Widyastuti, D.A. (2017). Terapi Gen: Dari Bioteknologi Untuk Kesehatan. Al-Kaunyah. Journal of Biology. Vol. 10 No. 1
- Sutarno (2015). Genetika Non-Mendel. DNA mitokondria dan peranannya dalam produksi hewan dan kelainan pada manusia. ISBN No. 978-979-498-872-5. UNS Press, Solo.

BAB
3

BIOTEKNOLOGI KONVENSIONAL

Aminatus Sa'diyah, S.Si., M.T.
Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya

A. PENDAHULUAN

Beberapa disiplin ilmu dan teknologi yang berkorelasi dengan perkembangan bioteknologi disajikan dalam gambar 3.1 di bawah ini :



Gambar 3.1. Ilmu Dasar dan Teknologi yang Mendasari Perkembangan Bioteknologi Modern (Yuwono, 2019)

Istilah bioteknologi memiliki arti penerapan prinsip-prinsip biologi, biokimia, dan biofisika dalam memproses substansi dengan berdasarkan pengetahuan sains dan rekayasa. Organisme dalam bioteknologi merupakan suatu agen biologis yang berperan sebagai perantara untuk memproses zat atau substansi untuk menunjang kebutuhan hidup manusia sesuai perkembangan teknologi. Proses dalam bioteknologi selalu melibatkan organisme yang memiliki sifat dan karakteristik yang *unique* baik dalam bentuk organel, sel, jaringan, atau enzim.

Secara umum, bioteknologi dapat diklasifikasikan menjadi dua tipe yaitu bioteknologi konvensional dan bioteknologi modern. Dalam bioteknologi konvensional, penerapan teknik-teknik biologi, biokimia atau rekayasa masih memerlukan pengembangan dan kajian keilmuan yang luas. Mikroorganisme sebagai agen penting dalam proses bioteknologi dimanfaatkan sesuai dengan sifat dan perilaku hidupnya. Sebagai contoh, untuk meningkatkan produksi etanol dengan agen mikroba, para ilmuwan menerapkan teknik *mutase* genetik sejak puluhan tahun lalu. Teknik ini mampu mengevaluasi teori evolusi Charles Darwin yang sangat fenomenal di dunia Biologi dan merupakan suatu pembaharuan di bidang bioteknologi konvensional. Peta konsep Bioteknologi disajikan dalam Gambar 3.2 berikut



Gambar 3.2. Peta Konsep Bioteknologi
(Sumber : lmsspada.kemdikbud.go.id)

Pada Gambar 3.2 dijelaskan bahwa Bioteknologi modern atau biasa disebut bioteknologi baru merupakan tipe bioteknologi yang berbeda secara substansi dengan bioteknologi konvensional. Oleh karena itu, istilah yang umum digunakan mengacu pada bioteknologi yang berlandaskan pada teknik biologi molekuler. Dalam perkembangannya, bioteknologi kini telah mencapai teknik rekayasa yang jauh lebih terfokus sehingga hasilnya dapat lebih, atau bahkan sepenuhnya dikendalikan seperti teknik kultur jaringan dan rekayasa genetika (Pratiwi, R.H., 2010).

Perbandingan antara bioteknologi Konvensional dan Modern dapat terlihat dari penggunaan agen organisme, dasar ilmiah, keilmuan, dan produksi. Bioteknologi konvensional cenderung menggunakan organisme atau makhluk hidup sebagai agen secara langsung. Pada praktiknya tidak menggunakan dasar prinsip ilmiah, akan tetapi lebih sering menggunakan keterampilan atau pengetahuan yang bersifat warisan dari pendahulu. Hasil dari praktik ini hanya digunakan untuk sebagian kecil orang karena hasil produksinya tidak untuk massal, sehingga kebermanfaatan teknologi konvensional ini kurang optimal.

Bioteknologi modern, pada pelaksanaannya menggunakan organisme beserta komponennya secara langsung dengan didukung oleh dasar prinsip ilmiah. Dalam prosesnya telah melalui pengkajian berbagai disiplin ilmu dengan dukungan teknologi dan pakar di bidangnya. Sehingga hasil produksi bisa lebih optimal, unggul, dan diversif. Berbeda dengan bioteknologi konvensional, bioteknologi modern menawarkan suatu terobosan baru berupa rekayasa teknik yang kebermanfaatannya bisa langsung dirasakan oleh banyak pihak.

Beberapa teknik rekayasa dalam bioteknologi dapat digunakan secara bersamaan untuk mempermudah proses dan mendapatkan hasil optimum sesuai kebutuhan. Pada tabel 3.1 disajikan beberapa contoh tentang praktik pertanian dengan menggunakan teknik perpaduan bioteknologi konvensional dan bioteknologi modern.

Tabel 3.1 Contoh Penggunaan Teknik Bioteknologi Konvensional dan Bioteknologi Modern Dalam Praktik Pertanian.

Kegiatan	Bioteknologi Konvensional	Bioteknologi Modern
	Contoh	Contoh
Budi daya tanaman	Penggunaan galur tanaman alami yang belum mengalami modifikasi genetik	Budi daya tanaman transgenik yang membawa gen ketahanan terhadap herbisida
Pengendalian hama dan penyakit	Penggunaan bakteri <i>Bacillus thuringiensis</i> alami untuk pengendalian hama	Penggunaan galur tanaman transgenik yang membawa gen <i>cry</i> dari <i>Bacillus thuringiensis</i>

Dalam tabel 3.1. dijelaskan bahwa dalam praktik pertanian, teknik bioteknologi konvensional dapat dipadukan secara bertahap dan bersamaan, terutama pada proses budidaya tanaman dan pengendalian hama serta penyakit tanaman. Pemuliaan tanaman yang dilakukan sebelum berkembangnya bioteknologi modern dilakukan dengan cara mengumpulkan galur-galur tanaman yang ada di alam. Secara bertahap, galur-galur tanaman tersebut disilangkan sehingga didapatkan galur-galur tanaman dengan sifat unggul yang dikehendaki.

Bioteknologi dapat berkembang jika dalam penerapannya terjadi perpaduan berbagai disiplin ilmu sains dan teknologi termasuk biokimia, mikrobiologi, genetika, dan biologi molekuler, serta rekayasa proses dan biokimia. Hal ini mendasari kajian tentang ilmu kultur jaringan dan mikro propagasi tanaman sebagai metode yang paling hanya digunakan oleh para peneliti sebagai bentuk penerapan bioteknologi.

B. KELEBIHAN DAN KEKURANGAN BIOTEKNOLOGI

Penerapan bioteknologi konvensional memiliki berbagai kelebihan terutama berdampak pada pelaku yang mempraktikkan secara langsung, yaitu harga relatif terjangkau, tidak membutuhkan instrument/peralatan yang rumit, bisa dikerjakan secara manual maupun berkelompok, serta

pengaruh jangka panjang yang sudah diketahui karena umumnya sistem sudah pakem dan dapat diterima semua kalangan. Akan tetapi, pada pelaksanaannya juga memiliki kekurangan di antaranya terkait dengan sifat genetik yang tetap sehingga memunculkan peluang ketidaknormalan gen. Ketika hal ini terjadi, para pelaku bioteknologi tidak memiliki cukup pengetahuan untuk mengantisipasi (inkompatibilitas) sehingga bisa menimbulkan kerugian. Selain itu, hasil produksi tidak dapat diperkirakan karena semua proses hanya mengandalkan faktor lingkungan dan ketersediaan sumber daya yang sebagian besar minim wawasan. Hal ini menyebabkan waktu produksi menjadi tidak menentu bahkan cenderung lama. Produk yang dihasilkan dengan teknik konvensional di antaranya di bidang pangan terdapat pembuatan bir, roti maupun keju, pemuliaan tanaman, reproduksi hewan, serta di bidang kesehatan antara lain penemuan vaksin, antibiotik dan insulin walaupun masih dalam jumlah terbatas akibat proses fermentasi yang tidak sempurna. (menlhk.go.id)

Bioteknologi modern memiliki berbagai macam kelebihan yang dapat membantu meningkatkan hasil produksi para pelaku. Di antaranya pengendalian sifat genetik dilakukan secara terarah dan sesuai dengan prosedur yang telah ditetapkan oleh para ahli, hal ini dapat mengatasi kendala ketidaksesuaian genetik atau ketidaknormalan genetik yang sering ditemukan pada teknik konvensional. Selain itu, dapat menghasilkan varietas baru dengan sifat yang lebih unggul, serta Jangka waktu yang digunakan untuk pengembangan galur tanaman baru lebih singkat sehingga produk yang dihasilkan dengan teknik ini menjadi lebih berkualitas.

Kekurangan dari bioteknologi modern terlihat pada harga yang relatif mahal karena menggunakan peralatan dengan teknologi canggih, selain itu pengaruh jangka panjang belum dapat diperkirakan. Beberapa produk yang dihasilkan dari teknik modern di antaranya tanaman hasil rekayasa genetika, kultur jaringan, rekombinasi DNA, *cloning* dll (SPADA, 2020). Di bidang pangan misalnya, dapat dihasilkan produk pangan dengan gizi yang lebih baik dibandingkan dengan tanaman konvensional, serta lebih tahan terhadap hama maupun dampak perubahan cuaca lingkungan. Selain itu, bioteknologi modern juga menghasilkan solusi untuk masalah polusi lingkungan akibat limbah rumah industri, penguraian zat-zat toksik oleh

mikroorganismenya mampu mengurangi dampak negatif secara langsung pada makhluk hidup di sekitarnya.

C. TEKNIK DALAM BIOTEKNOLOGI

Bioteknologi memiliki peran dalam pembangunan terutama dalam bidang pertanian di Indonesia. Pertanian merupakan salah satu mata pencaharian utama masyarakat, dan sampai saat ini bioteknologi telah berkembang pesat dengan adanya peran serta dari masyarakat dalam mendukung penerapan teknik konvensional (*makropropagasi*) maupun modern (*mikropropagasi*). Tentu saja tanaman pokok masih dijadikan sebagai fokus utama dalam pengembangan meliputi padi dan palawija (BPS, 2020). Hal ini bertujuan untuk memperoleh bibit maupun tanaman unggul berdasarkan hasil rekayasa. Pemerintah telah mendukung adanya teknik rekayasa dengan menerbitkan PP RI Nomor 21 Tahun 2005 tentang Keamanan Hayati Produk Rekayasa Genetik. Dengan adanya PP ini maka kemajuan bioteknologi konvensional maupun modern dapat dilakukan secara optimal.

Bioteknologi memiliki potensi yang besar dalam perannya meningkatkan produksi tanaman budidaya, peternakan, dan pengolahan secara biologi. Dalam bidang pertanian, pendekatan-pendekatan baru untuk mengembangkan varietas-varietas baru tanaman dengan produksi yang lebih tinggi dan lebih bergizi, lebih tahan terhadap penyakit dan keadaan yang merugikan, atau mengurangi kebutuhan pupuk dan bahan-bahan agrokimia lain yang mahal. Di bidang peternakan, potensi paling besar terletak pada bidang produksi senyawa yang dapat mempercepat pertumbuhan hewan ternak dan penyediaan vaksin untuk mengendalikan penyakit pada hewan ternak dan unggas, seperti penyakit mulut dan kuku, antraks, flu burung dan sebagainya baik yang sedang diproduksi atau yang akan diproduksi vaksinnya. Pengolahan secara biologi menggunakan mikroorganismenya atau senyawa yang dihasilkannya baik secara konvensional maupun modern untuk menciptakan produk yang bermanfaat, memberi peluang besar untuk pembuatan produk dan bahan pangan baru berkualitas tinggi, pengolahan dan pemanfaatan limbah yang tepat guna, serta penggunaan sumber daya untuk energi atau bahan bakar. (Pratiwi, R.H., 2010)

Beberapa teknik dalam penerapan bioteknologi di antaranya fermentasi, analisis genetik, seleksi pemuliaan tanaman, analisis DNA, kultur sel dan jaringan, serta rekayasa genetik atau rekombinasi DNA. Teknik yang paling umum digunakan adalah kultur jaringan dan rekayasa genetik. Dalam teknik fermentasi, penggunaan mikroba sebagai agen untuk mengubah suatu senyawa seperti glukosa menjadi senyawa lain seperti asam laktat, etanol, dan juga hidrogen. Pada praktiknya sering digunakan pada bioteknologi konvensional, industri farmasi, penghasil energi atau bahan bakar, serta bio plastik yang dapat di degenerasi.

Analisis genetik mempelajari tentang karakteristik gen yang diwariskan oleh induk, serta mempelajari interaksi gen dengan lingkungan dalam proses menghasilkan sifat yang unik/khas. Teknik ini sering digunakan di bidang kesehatan dalam hal diagnosis penyakit, di bidang pertanian pada proses rekayasa genetik, dan mempelajari perilaku mikroba dalam menghasilkan energi yang dapat diubah menjadi bahan bakar.

Seleksi dan pemuliaan menggunakan manipulasi organisme di antaranya mikroba, tanaman atau hewan serta pemilihan individu atau populasi tertentu sebagai persediaan genetik untuk dapat dipadukan dengan individu lain yang bertujuan untuk memperbaiki generasi baru. Secara umum, teknik ini digunakan pada bioteknologi konvensional berupa kawin suntik, produksi bahan pangan, serta plastik berbahan tanaman (bioplastik).

Analisis DNA mengkaji karakter DNA melalui PCR (*Polymerase Chain Reaction*) dan RFLP (*Restriction Fragment Length Polymorphism*) yang merupakan suatu teknik pemetaan untuk menentukan keberadaan gen pada DNA. Teknik ini biasa digunakan di bidang kesehatan untuk mendiagnosis suatu penyakit, konseling genetik maupun terapi bersifat genetik. (SPADA, 2020)

Berikutnya adalah kultur jaringan, teknik yang paling umum digunakan saat ini dalam dunia bioteknologi. Kelebihan dari teknik ini adalah dapat diterapkan pada jaringan tanaman maupun hewan. Salah satu contoh penerapannya berupa teknik kultur jaringan tanaman secara *in vitro*, dengan menggunakan dasar sifat *totipotensi* tanaman, dihasilkan suatu individu baru dengan pada setiap bagian tanaman yang di kulturkan.

Teknik terakhir adalah Rekayasa Genetika, yaitu studi analisis tentang struktur dan fungsi gen. tujuan dari rekayasa genetik adalah untuk mendapatkan bibit unggul dengan proses *strain improvement*. Penerapan teknik rekayasa genetik di antaranya di bidang produksi bahan makanan, produk obat-obatan, perbaikan proses industri, dan mengatasi polusi lingkungan.

D. BIOTEKNOLOGI BIDANG PERTANIAN

Penelitian bioteknologi pertanian mulai digalakkan dengan pembentukan Panitia Nasional Bioteknologi di bawah Menteri Negara Riset dan Teknologi pada tahun 1985. Kegiatan penelitian bioteknologi pertanian mulai terasa meningkat dengan dilaksanakannya program Riset Unggulan Terpadu (RUT) yang dikelola oleh Dewan Riset Nasional dan Hibah. Penelitian pengembangan bioteknologi dalam bidang pertanian dilakukan untuk merakit varietas unggul seperti tanaman padi dan tanaman semusim yang sangat membantu dalam menyediakan kebutuhan pangan di Indonesia (Wasilah, U., 2019).

Perkembangan bioteknologi dalam bidang pertanian memiliki potensi yang menguntungkan. Rekayasa genetika membuka peluang yang luas bagi pemulia untuk mengakses gen dan trait baru dari sumber yang eksotik dan beragam untuk dimasukkan ke dalam varietas/hibrida unggul. Tujuan utama dari perakitan produk rekayasa genetika adalah untuk mengatasi berbagai permasalahan pangan yang dihadapi di berbagai belahan dunia karena pertumbuhan penduduk yang semakin pesat, termasuk Indonesia. Produk rekayasa genetika bermanfaat untuk mengurangi penggunaan pestisida kimia, menghasilkan makanan yang lebih bergizi serta obat-obatan.

Teknik atau metode bioteknologi yang paling umum digunakan di bidang pertanian adalah kultur jaringan. Menurut Westcott, Henshew dan Roca (1977) dalam Karjadi (2016), metode kultur jaringan dapat meningkatkan produksi benih baik kualitas maupun kuantitasnya. Teknik ini mampu mengisolasi bagian dari suatu tanaman seperti protoplasma, sel, sekelompok sel, jaringan dan organ serta menumbuhkannya dalam kondisi aseptik hingga bagian-bagian tersebut dapat berkembang dan beregenerasi menjadi tanaman lengkap kembali. Dalam teknik kultur jaringan terdapat

beberapa syarat yang harus dipenuhi berupa fasilitas pendukung beserta lingkungan organismenya. Meskipun metode ini telah diakui sebagai pembaharu, namun terdapat beberapa tanaman justru tidak menguntungkan direkayasa dengan kultur jaringan. Tanaman tersebut memiliki sifat multiplikasi yang rendah, dan memiliki penyimpangan genetik yang relatif tinggi.

Selain metode kultur jaringan yang umum digunakan di bidang pertanian, terdapat kultur in-vitro dengan teknik yang lebih maju. Teknik ini biasa disebut "*Mikropopagasi*" tanaman. Kelebihan teknik invitro adalah bahan tanaman yang digunakan lebih kecil dari tanaman induk, sehingga tidak merusak jaringan inang. Lingkungan tumbuh kultur invitro bersifat aseptik dan terkendali, kecepatan multiplikasi tinggi, dapat menghasilkan bibit bebas penyakit dari induk yang telah memiliki pathogen internal, serta tempat tumbuh relatif kecil untuk menghasilkan benih dalam jumlah besar. (Karjadi, 2016)

E. BIOTEKNOLOGI BIDANG KESEHATAN

Bioteknologi dalam bidang kesehatan memberikan kesempatan dalam pemecahan masalah yaitu mendiagnosa, mencegah, serta mengobati berbagai penyakit termasuk penyakit genetik. Salah satu aspek penting dalam pengembangan produk bioteknologi kesehatan adalah pembuatan hormon manusia. Sebelum era bioteknologi, insulin diperoleh dari hewan ternak seperti sapi dan babi. Namun, cara ini memiliki kelemahan yaitu memungkinkan timbulnya alergi dan hasil produksi insulin yang terbatas (Ambarwati dan Susianawati, 2006). Vaksin merupakan produk bioteknologi yang terus dikembangkan baik vaksin untuk manusia ataupun ternak. Vaksin merupakan bahan antigenik yang digunakan untuk kekebalan terhadap suatu penyakit yang biasanya mengandung virus atau mikroorganisme yang telah dimatikan atau dilemahkan.

F. BIOTEKNOLOGI BIDANG LINGKUNGAN

Bioteknologi lingkungan telah diterapkan di Indonesia sejak perkembangan industri dan urbanisasi yang telah mengganggu lingkungan yang awalnya bersih. Perkembangan bioteknologi dalam bidang lingkungan dapat merestorasi lingkungan yang tercemar serta meningkatkan kualitas

lingkungan terutama bagi manusia. Untuk mengatasi permasalahan lingkungan, bioteknologi memanfaatkan mikroorganisme dalam pengolahan limbah atau permasalahan lingkungan yang lain dikarenakan penggunaan mikroorganisme ini dinilai lebih alami dan tidak menimbulkan dampak yang berbahaya dibandingkan menggunakan bahan kimia atau sintetis (Susilowati, 2016).

Bioteknologi memiliki banyak manfaat bagi lingkungan di antara sebagai bioremediasi, bioleaching yaitu pelepasan logam dari mineral atau sedimen, memproduksi pupuk hayati yang mudah didegradasi oleh lingkungan serta mengurangi limbah plastik dengan memproduksi bioplastik yang berasal dari gula, lemak, protein dan serat tanaman (Fahmideh et al., 2014). Penggunaan bioplastik akan mengurangi permasalahan lingkungan yang mana sampah plastik saat ini menjadi permasalahan di seluruh dunia. Bioplastik adalah plastik yang dapat digunakan seperti layaknya plastik pada umumnya namun ketika dibuang ke tanah akan mudah didekomposisi oleh mikroorganisme tanah dan akan menghasilkan senyawa asalnya yaitu air dan karbon dioksida (Yuniarti et al., 2014).

Bioteknologi memiliki banyak manfaat untuk kemajuan dalam bidang pertanian, kesehatan maupun lingkungan. Namun, bioteknologi di Indonesia belum berkembang pesat dibandingkan dengan negara Asia yang lain. Beberapa faktor yang mempengaruhi keterlambatan perkembangan bioteknologi ini meliputi dana penelitian yang rendah, sumber daya manusia dan kurangnya fasilitas. Faktor lain seperti budaya dan agama juga mempengaruhi perkembangan bioteknologi di Indonesia.

G. BIOTEKNOLOGI BIDANG INDUSTRI

Dunia industri memiliki peran penting dalam kelangsungan hidup sebuah Negara, baik untuk pemenuhan sarana dan prasarana maupun dukungan fasilitas dari aspek makro yang lebih luas. Secara langsung maupun tidak langsung, industri memberi sumbangsih yang besar terhadap kelangsungan hidup masyarakat. Indonesia telah mengembangkan kemampuan ilmiah dan teknologi untuk penerapan bioteknologi dalam usaha untuk mensejahterakan masyarakat (Suryani, 1995). Bioteknologi juga memiliki peran besar agroindustri terutama pada proses pengolahan

dan pendayagunaan organisme melalui sistem atau proses hayati pada sektor hulu-hilir untuk menghasilkan produk yang unggul.

Dalam industri 4.0, pemerintah Republik Indonesia menggalakkan program *automatisasi* di segala bidang termasuk industri. Hal ini juga berdampak pada penerapan bioteknologi yang merupakan dasar dalam hampir semua proses bioterapi farmasi. Teknologi ini banyak diterapkan untuk memanipulasi berbagai bahan biologis yang dapat dipakai sebagai terapi untuk berbagai kondisi dan jenis penyakit. Beberapa teknologi yang berkembang dan digunakan dalam penemuan-penemuan baru adalah CRISPR, metode komputasi dalam pencarian obat baru, penemuan target obat lewat mikrobiota usus, serta biologi sistem. Ke semuanya akan memberikan peluang dikembangkannya obat-obat baru yang dapat mengurangi angka kematian dan sekaligus meningkatkan kualitas hidup manusia. (Tjandrawinata, 2016)

H. KONTROVERSI PENERAPAN BIOTEKNOLOGI

Dalam perkembangan bioteknologi, tak lepas dari pro kontra penggunaan metode di antaranya menurut BMC (2020) bahwa teknologi kloning dan rekayasa terhadap tanaman pangan yang mendapatkan kecaman dari kalangan religius konservatif. Penggunaan tanaman transgenik juga mengundang banyak penolakan dari pihak yang dengan ekstrem menyampaikan hipotesis bahaya tanaman transgenik (Mahrus, 2014). Seperti halnya tanaman jagung yang dianggap memunculkan varietas tanaman baru yang mengandung *genetically modified organism* (GMO) (Nurhayati, 2009). Selain itu, kecenderungan keseimbangan lingkungan yang akan terganggu dengan adanya kemungkinan serbuk sari di alam bebas yang dapat mengawini gulma-gulma menyebabkan gulma akan sulit dibasmi. Namun sebagian pihak yang mendukung bioteknologi modern menganggap bahwa penerapan metode rekayasa genetik dapat dihasilkan varietas tanaman dengan kualitas unggul, tahan terhadap berbagai jenis hama dan gulma, sehingga menguntungkan bagi petani. (BMC, 2020).

I. RANGKUMAN MATERI

Bioteknologi memiliki peran dalam pembangunan terutama dalam bidang pertanian di Indonesia. Dua tipe bioteknologi yang umum digunakan adalah bioteknologi konvensional atau makropropagasi dan bioteknologi modern atau biasa disebut mikropropagasi. Kedua tipe tersebut memiliki potensi yang besar dalam meningkatkan produksi tanaman budidaya, peternakan, dan pengolahan secara biologi. Beberapa teknik dalam penerapan bioteknologi di antaranya fermentasi, analisis genetik, seleksi pemuliaan tanaman, analisis DNA, kultur sel dan jaringan, serta rekayasa genetik atau rekombinasi DNA. Selain itu, sektor Bioteknologi memiliki banyak manfaat untuk kemajuan dalam bidang pertanian, kesehatan, industri maupun lingkungan. Meskipun perkembangan bioteknologi belum begitu pesat, namun para ahli telah mengupayakan kajian ilmiah rekayasa yang tepat guna agar penerapan bioteknologi mampu menjawab permasalahan yang dihadapi masyarakat terutama untuk tujuan mencapai swasembada pangan.

TUGAS DAN EVALUASI

1. Jelaskan metode yang paling umum digunakan pada bioteknologi konvensional!
2. Apa metode terbaik penerapan bioteknologi di bidang pertanian? Jelaskan alasannya.
3. Sebutkan dan jelaskan peran bioteknologi di bidang kesehatan, beserta metode yang sering digunakan!
4. Apa perbedaan bioteknologi konvensional dan modern (mikropropagasi) jika menggunakan teknik kultur jaringan? Jelaskan.
5. Jelaskan metode kultur jaringan secara deskriptif, berikan contoh kasusnya!

DAFTAR PUSTAKA

- Ambarwati & Susianawati, N. (2006). Kemajuan IPTEK untuk Kemaslahatan Umat. SUHUF. Vol. 18 No. 2, 156-165.
- Biologi Media Center. (2020, 15 Desember). *Bioteknologi (1) : Konsep dasar dan perkembangan*. Diakses dari <http://indonesiabch.menlhk.go.id/bioteknologi-1-konsep-dasar-dan-perkembangan/>
- BPS. (2020). Luas Panen dan Produksi Padi di Indonesia 2019. Jakarta : Badan Pusat Statistik Copyright
- Fahmideh, L., Khodadadi, E., & Khodadadi, E. (2014). *A Review of Applications of Biotechnology in the Environment. International Journal of Farming and Aplied Science*, Vol. 3 No. 12, 1319-1325
- Imran, Y. L., Hutomo, G. S., & Rahim, A. (2014). *Sintesis Dan Karakterisasi Bioplastik Berbasis Pati Sagu (Metroxylon SP)* (Doctoral dissertation, Tadulako University).
- Karjadi, AK. (2016). Kultur Jaringan dan Mikropropagasi Tanaman Kentang (*Solanum tuberosum L.*). Bandung : Balai Penelitian Tanaman Sayuran. Kementerian Pertanian RI.
- Mahrus. (2014). Kontroversi Produk Rekayasa Genetika yang Dikonsumsi Masyarakat. *Jurnal Biologi Tropis*, Vol. 14 No.2 Juli 2014, 108-119. ISSN : 1411-9587.
- Nurhayati, A. (2009). Perkembangan Teknologi di Bidang Produksi Pangan dan Obat-obatan serta Hak-hak Konsumen. *Jurnal Hukum* No.3 Vo. 16 Juli 2009, 423-438
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 21 Tahun 2005 Tentang Keamanan Hayati Produk Rekayasa Genetik
- Pratiwi, R. H. (2015). Peranan Bioteknologi Dalam Mengatasi Multikrisis. *Faktor Exacta*, 3(2), 158-166.
- SPADA Indonesia. (2020). Pendahuluan Bioteknologi Pertanian. Diakses dari <https://lmsspada.kemdikbud.go.id/mod/resource/view.php?id=49859&forceview=1>
- Suryani, A., Gumbira-Sa'id, E.. (). *Bioteknologi industri dan penerapannya untuk pengembangan agroindustri di Indonesia*.

- Susilowati, R. (2016). Bioteknologi Sebagai Penunjang Pertanian Berkelanjutan. *Jurnal Bestari*, (31).
- Tjandrawinata, R. R. (2016). Industri 4.0: Revolusi industri abad ini dan pengaruhnya pada bidang kesehatan dan bioteknologi. *Jurnal Medicinus*, 29(1), 31-39.
- Wasilah, U., Rohimah, S., & Su'udi, M. (2019). Perkembangan Bioteknologi di Indonesia. *Rekayasa. Journal of Science and Technology* , 12(2), 85-90. DOI: <https://doi.org/10.21107/rekayasa.v12i2.5469>
- Yuwono, T. (2019). Bioteknologi Pertanian. Yogyakarta : Gajah Mada University Press.



HIBRIDISASI DAN FERMENTASI

Pramita Laksitarahmi Isrianto, S.Si., M.Si
Universitas Wijaya Kusuma Surabaya

A. PENDAHULUAN

Bioteknologi merupakan pemanfaatan bagian makhluk hidup dalam memanipulasi organisme untuk menghasilkan suatu produk yang dapat dimanfaatkan bagi masyarakat. Bioteknologi konvensional adalah suatu bioteknologi secara sederhana dan sudah lama berkembang dengan memanfaatkan mikroba, proses biokimia, dan genetika secara alami. Bahan dan harga yang digunakan relatif murah dan sangat mudah didapat. Di dalam bidang pertanian terdapat suatu teknik hibridasi, sedangkan pada bidang pangan yang memanfaatkan jasad hidup komersial yaitu fermentasi. Biasanya mikroorganisme yang dipakai relatif terbatas juga. Berawal dari percobaan Louis Pasteur dengan penemuannya terkait mikroorganisme dalam berfermentasi, kemudian masyarakat dapat membuat produk makanan baru secara konvensional dengan memanfaatkan mikroorganisme (Faridah & Sari, 2019). Pada bioteknologi konvensional dilakukan berdasarkan pengalaman secara turun temurun dan belum dapat diproduksi secara massal dan dilakukan secara sederhana. Pemanfaatan mikroorganisme dapat digunakan untuk memproduksi alkohol, asam asetat, gula atau bahan makanan lainnya. Pada bioteknologi konvensional ini pemanfaatan makhluk hidup yang digunakan pada level individu. Peran

bioteknologi dapat meningkatkan kesejahteraan manusia dan mengurangi kelangkaan sumber daya energi (Sutarno, 2016).

B. RINCIAN PEMBAHASAN MATERI

1. Pengertian Hibridisasi

Hibridisasi diperlukan dalam suatu pemuliaan tanaman yang dikembangkan secara vegetatif. Hibridisasi merupakan suatu persilangan antar spesies untuk mendapatkan sifat baru dan meningkatkan keragaman genetik. Dalam proses persilangan dapat dilakukan pada tanaman menyerbukan sendiri/silang. Tujuan dari hibridisasi adalah menggabungkan sifat-sifat baik dari kedua tetua atau induknya sedemikian rupa sehingga menghasilkan sifat-sifat baik terhadap keturunannya dan memperbanyak keragaman genetik (Yunianti et al., 2010). Hasil dari *hibridisasi* nantinya akan muncul keragaman genetik yang tinggi pada keturunannya. Tahapan penting *hibridasi* untuk perbaikan tanaman yaitu saat proses pemindahan bahan genetik baru ke dalam kultivar melalui penyerbukan. Adapun faktor yang mempengaruhi dalam hibridisasi di antaranya dalam persilangan jarak jauh antar spesies dan antar jenis. Persilangan jarak jauh (*wide hybridization*) yaitu persilangan baik antar spesies atau genera (Taryono, 2015).

Produksi hasil pertanian diharapkan untuk mendapatkan varietas atau klon yang tahan terhadap penyakit yaitu ditempuh dengan cara hibridisasi (persilangan) dengan memindahkan atau menggabungkan gen ketahanan terhadap penyakit. Dalam pemuliaan tanaman diperlukan plasma nutfah merupakan bahan tetua dalam proses hibridisasi yang digunakan sebagai sumber genetik utama (Kristamtini, 2005). Salah satu upaya untuk meningkatkan keragaman genetik dapat melakukan perkawinan antar spesies, sehingga mendapatkan varietas yang bersifat unggul dan menghasilkan rekombinasi gen dalam pemuliaan tanaman. Beberapa tahapan dari kegiatan hibridisasi antara lain adalah penentuan parental atau tetua, persiapan alat, identifikasi bunga betina, penentuan waktu pelaksanaan persilangan, isolasi *polinasi*, pembungkusan, dan pemberian label.

Pada *Hibridisasi* atau persilangan buatan dilakukan secara penyerbukan buatan antara tetua-tetua yang berbeda genotipe. Persilangan buatan dilakukan dengan tujuan untuk: 1. Menggabungkan sifat-sifat yang diinginkan contoh: Menggabungkan sifat daya hasil tinggi dengan sifat resistensi terhadap investasi hama kutu daun *Aphis gossypii* pada cabai. 2. Memperluas keragaman genetik Hasil persilangan dapat membentuk populasi bersegregasi yang mempunyai keragaman genetik lebih tinggi.

2. Macam-macam persilangan

- a. **Intravarietal** merupakan persilangan yang terjadi antara tanaman-tanaman yang mempunyai varietas yang sama.
- b. **Intervarietal** merupakan persilangan yang terjadi antara tanaman-tanaman yang berasal dari varietas yang berbeda akan tetapi masih dalam spesies yang sama juga, sehingga disebut persilangan *intraspesiif*.
- c. **Interspesifik** Persilangan dari tanaman-tanaman yang berbeda spesies akan tetapi masih dalam genus yang sama, sehingga disebut persilangan intragenerik. Tujuan dari persilangan ini untuk memindahkan daya resisten terhadap hama, penyakit, dan kekeringan dari suatu spesies ke lain spesies. contoh pada tanaman tomat, tebu, persilangan antara ubi jalar tetraploid aksesori 206 berasal dari lokal Cilembu dan aksesori 217 (eks Jepang) untuk tetua betina dengan kerabat liar ubi jalar *I. trifida diploid* berumbi aksesori 99 sebagai tetua jantan (Setiawati et al., 2016). Adapun hambatan dalam hibridisasi inter spesifik dikarenakan adanya kegagalan polen untuk berkecambah, terlalu tumbuh cepat ke tangkai putik untuk menghasilkan pembuahan, gagal dalam fertilisasi karena hancurnya pada jaringan endosperm dan aborsi embrio muda, dan ketidakteraturan meiosis sehingga terjadi gagal dalam sistem reproduksi tanaman hibrid (Marwoto et al., 2012).
- d. **Intergenerik** merupakan persilangan antara tanaman-tanaman dari generasi yang berbeda, dilakukan dengan tujuan mentransfer daya resisten hama, penyakit dan kekeringan dari suatu generasi-generasi yang liar ke yang sudah dibudidayakan, contohnya lobak, glagah, kubis.

Pada tipe hibridisasi intergenerik ini dapat dimanfaatkan untuk mentransfer tanaman yang tahan terhadap penyakit, hama, dan kekeringan yang berasal dari tanaman liar pada tanaman budidaya (Yunianti et al., 2010).

- e. **Introgressive** merupakan tipe persilangan yang satu spesies mendominasi sifat-sifat spesies lain, sehingga muncul populasi *hybrid*.

3. Tahapan Hibridisasi

- a. Pemilihan Tetua dan Persiapan polen Donor

Pada hibridisasi sangat perlu untuk memperhatikan organ reproduksi tanaman, dapat membedakan organ jantan dan betina pada bunga agar proses penyerbukan dan pembuahan berlangsung dengan baik. Pengelompokan tipe bunga dibedakan menjadi 4 yaitu a. Bunga lengkap yang memiliki organ bunga lengkap, b. Bunga tidak lengkap yang tidak memiliki organ tertentu seperti petal/sepal, c. Tipe bunga sempurna yang memiliki stamen dan *pistil* pada satu bunga yang sama, dan d. Bunga tidak sempurna terdiri dua jenis yaitu bunga jantan yang hanya memiliki stamen saja dan bunga betina yang hanya memiliki *pistil* saja.

Pemilihan tetua dalam persilangan juga perlu diperhatikan supaya mendapatkan karakter yang diinginkan, antara lain yaitu tetua harus memiliki karakter unggul, mempunyai adaptasi dan penampilan yang terbaik, memiliki kekerabatan yang jauh antar kedua tetua supaya ada suatu keragaman genetik (Handayani, 2014). Selanjutnya dipersiapkan polen donor yaitu pada bunga yang belum mekar penuh dengan mengambil polennya dengan menggunakan pinset agar tetap segar (Kurniati, 2018).

- b. Kastrasi

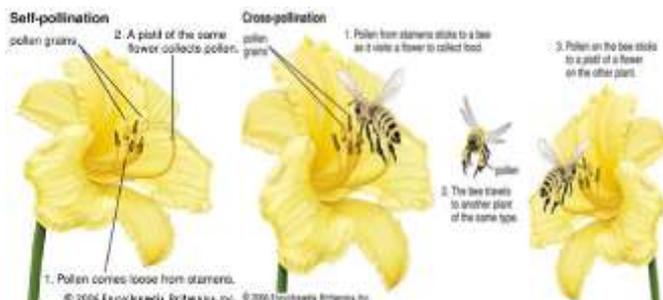
Kastrasi merupakan bagian dari persilangan buatan, dimana pada bagian mahkota dan kelopak pada bunga dibuang. Selanjutnya ketika bunga belum mekar atau sebelum terjadi penyerbukan sendiri akan terjadi proses emaskulasi dengan membuang alat kelamin jantan (stamen) pada tetua betina yang masih muda supaya tidak melakukan penyerbukan sendiri (Winawati et al., 2017). Setelah itu baru terjadi proses penyerbukan, isolasi, dan pelabelan. Kastrasi dilakukan untuk merangsang pertumbuhan

vegetatif dan untuk mencegah suatu infeksi hama dan penyakit. Kastrasi dilakukan satu bulan sekali. Adapun cara melakukan kastrasi yaitu dapat dilakukan dengan pompa pengisap, pemberian alkohol, dan manual dengan menggunakan pinset (Sitepu et al., 2014).

- Syarat bunga yang dapat dilakukan secara kastrasi
 1. Tanaman sehat merupakan faktor terpenting dalam hibridisasi dan bebas dari hama penyakit tanaman
 2. Lingkungan harus sesuai dan terkontrol, misalnya jika asal tanaman yang digunakan berasal dari tanaman dataran tinggi, maka lingkungan yang cocok yaitu pada daerah dingin.
 3. Manusia sebagai seorang *brider* harus memiliki pengetahuan tentang hibridisasi sebelum kegiatan dilakukan, memiliki seni dan kesabaran yang tinggi dalam menciptakan bentuk suatu tanaman dari hasil hibridisasi.

c. Penyerbukan

Proses penyerbukan sebaiknya dilakukan satu hari setelah kastrasi. Kegiatan yang dilakukan adalah menyerbuki bunga-bunga yang telah dikaburi dengan serbuk sari. Adapun tipe penyerbukan tanaman yaitu penyerbukan sendiri (*autogamy*) dan penyerbukan silang (*heterogamy*) (Gambar 1). Pada penyerbukan sendiri biasanya bunga tidak mekar, waktu *antesis* dan reseptif bersamaan, banyak polah yang belum luruh, pada bagian stamen dan *pistil* tertutup, dan ketika masaknya polen terjadi pemanjangan pada *pistil* (Yunianti et al. , 2010).



Gambar 4.1 Penyerbukan sendiri (a) dan (b) penyerbukan silang (Brittanica.com)

d. Isolasi

Tahap Isolasi merupakan kegiatan menutup bunga indukan betina yang telah dilakukan persilangan dengan menggunakan kertas sungkup dan selotip, dengan tujuan agar serbuk sari dari tanaman yang lain tidak menempel pada putik indukan betina yang disilangkan. Berbagai tanaman sejenis yang dapat dilakukan persilangan di antaranya adalah padi, cabai, terong, jagung, tomat, paprika, kacang kapri dan yang lainnya. Setelah proses tersebut akan terjadi proses pembuahan dan pemanenan yaitu buah akan terbentuk jika suatu penyerbukan telah berhasil dan untuk biji hasil persilangan dapat ditanam, kemudian dipindahkan pada media steril.

e. Tanda keberhasilan hibridisasi

Suatu keberhasilan dalam penyerbukan dan pembuahan dipengaruhi oleh kompatibilitas tetua, ketepatan waktu reseptif betina dan *anthesis* jantan, kesuburan tanaman dan faktor lingkungan. Perlu diketahui juga hibridisasi berhasil apabila terjadi pembengkakan pada pangkal buah, kelopak bunga layu, akan tetapi pada bakal buah akan tetap terlihat segar. Keberhasilan persilangan dalam kurun waktu 1 minggu setelah penyerbukan. Apabila pental kering, bakal buahnya segar dan membesar, maka akan terjadi suatu pembuahan. Namun jika kepala putik terlihat layu dan pada bakal buahnya rontok, maka hibridisasi tidak berhasil. Produksi hasil benih hibrida ditentukan karakter bunga, waktu pembungaan kedua tetua, dan karakter morfologi yang transfer tepung sari dari tetua jantan (Widyastuti et al., 2015).

f. Beberapa Hasil Teknik Hibridisasi

Hasil hibridisasi yang telah banyak dilakukan antara lain hasil persilangan sendiri pada jagung manis (*Zea mays* var. *Saccharata* Sturt.) yang menghasilkan varietas jagung hibrida yang lebih baik (Rahmawati et al., 2014), pemulihan tanaman benih padi hibridisasi menghasilkan heterosis dari varietas yang dikembangkan mampu beradaptasi, tahan terhadap hama penyakit (Widyastuti et al., 2015), hibridisasi ubi kayu menggunakan penyerbukan silang (*cross pollination*) yang mempunyai *heterosigositas* tinggi, hibridisasi *Melaleuca alternifolia* dengan *M. disstiflora* dan *M. linariifolia* (Baskorowati, 2008), persilangan tomat Ranti

dengan tomat cherry *varietas Grape*, Red Pear dan Indigo Rose dengan tingkat kompatibilitas persilangan tinggi (Widyasmara et al., 2018).

C. FERMENTASI

1. Pengertian Fermentasi

Fermentasi merupakan teknologi yang menggunakan mikroba untuk menghasilkan produk makanan dan minuman. Dalam proses fermentasi memanfaatkan kemampuan mikroba untuk menghasilkan energi secara anaerob (tanpa oksigen). Fermentasi berawal berasal dari substrat yang diubah menjadi suatu produk. Fermentasi berasal dari *kat ferver* (latin) yaitu mendidih, sehingga menggambarkan suatu proses mikroba dalam medium yang akan menghasilkan alkohol. Selain dilakukan dengan bantuan bakteri, dapat juga menggunakan kapang atau khamir, campuran dari berbagai mikroorganisme. Sebagai salah satu contoh yaitu dapat menggunakan EM-4 (*Effective Microorganisms 4*) (Suryani et al., 2017). Fermentasi merupakan produk bioteknologi konvensional dan teknik pengawetan makanan tertua di dunia. Penerapan dari bioteknologi fermentasi ini nantinya akan menghasilkan suatu produk makanan dan minuman fermentasi. Selain sebagai untuk mengawetkan, fermentasi dapat diaplikasikan untuk merubah tekstur, aroma, dan rasa pada makanan (Faridah & Sari, 2019). Prinsip dasar fermentasi yaitu mengaktifkan aktivitas mikroba tertentu dalam mengubah sifat dari suatu bahan supaya menghasilkan suatu produk yang bermanfaat. Adapun manfaat dari produk fermentasi yaitu dapat menambah nilai gizi dari bahan yang berkualitas rendah, dapat memperpanjang waktu simpan, dan dapat meningkatkan nilai jual.

2. Mikroorganisme Yang Berperan dalam Fermentasi

Mikroba digunakan sebagai *inoculum* dalam proses fermentasi, di antaranya yaitu :

- a. Bakteri : *Bacillus sp.*, *Lactobacillus sp.*, *Streptococcus sp.*, *Eschericia sp.* dan yang lainnya
- b. Kapang: *Aspergillus sp.*, *Penicilium sp.* *Neurospora*, *Mucor* dan yang lainnya
- c. Yeast: *Saccharomyces*, *Candida*, dan yang lainnya.

3. Prinsip Dalam Proses Biofermentasi

Proses fermentasi selalu membutuhkan mikroba sebagai *inoculum* (*stater*), tempat fermentasi steril dan substrat sebagai medium dan sumber nutrisi untuk kelangsungan hidup mikroorganisme dengan komposisi kimia yang terkandung di dalamnya (Gambar 1). Selain itu dibutuhkan tempat fermentasi sebagai *bioreaktor*. Fungsi dari *bioreaktor* untuk menyediakan lingkungan mikroba dalam menghasilkan enzim sehingga menjadi suatu produk. *Bioreaktor* terdapat dua yaitu secara tertutup dan terbuka. Di dalam *Bioreaktor* tertutup terjadi penambahan nutrisi saat awal fermentasi & hasil produknya dihasilkan pada akhir fermentasi. Sedangkan dalam sistem terbuka dilakukan adanya penambahan nutrisi di proses fermentasi & saat akhir fermentasi hasil produknya dilakukan secara berkala. Selain itu kadar oksigen harus memenuhi standar agar membentuk sel-sel baru mikroorganisme dalam fermentasi, pengaruh faktor suhu optimum juga mempengaruhi pertumbuhan mikroorganisme dan faktor kebutuhan air dalam mencukupi pertumbuhan mikroorganisme.



Gambar 4.2 Skema Proses Fermentasi

4. Tipe Fermentasi

Berdasarkan substratnya, tipe fermentasi dibedakan menjadi 2 yaitu pada substrat padat dan substrat cair. Pada tipe substrat padat yang mana mikroorganismenya tumbuh dalam keadaan lembah, padat dengan sedikit air atau tanpa air, misalnya fermentasi keju, kopi, roti, kompos. Sedangkan pada tipe substrat padat dengan menggunakan larutan substrat yaitu larutnya gula atau larutan padat yang tersuspensi dalam jumlah air yang banyak membentuk seperti bubur, misalnya produksi insulin rekombinan, penisilin, bir (Chisti, 2010). Fermentasi terdapat dua macam berdasarkan kebutuhan oksigennya yaitu *aerobic* dan *anaerobic*. Pada proses fermentasi

aerobik dibutuhkan oksigen, sedangkan dalam proses fermentasi anaerobik tidak dibutuhkan oksigen. Hasil dari fermentasi anaerobik akan menghasilkan asam laktat (Aliya et al., 2016).

5. Aplikasi Fermentasi Berdasarkan Prosesnya

Indonesia jenis makanan fermentasi dapat digolongkan menjadi 4 berdasarkan prosesnya yaitu 1. Fermentasi asam laktat, 2. Fermentasi jamur 3. Fermentasi alkohol, dan 4. Fermentasi kadar garam tinggi (Nuraida, 2014). Jenis makan dan minuman yang difermentasi dapat bertahan lebih lama karena banyak mengandung bakteri baik. Adapun rinciannya sebagai berikut:

a. Fermentasi asam laktat

Pada proses pengolahan fermentasi asam laktat menggunakan bantuan bakteri asam laktat dari kelompok bakteri gram positif. Bakteri asam laktat merupakan kelompok organisme yang memfermentasi gula (Montet et al., 2014). Selama proses fermentasi akan terjadi perubahan secara biokimia karena adanya pengaruh aktivitas pertumbuhan mikroba. Pada bakteri asam laktat secara alami ditemukan pada buah-buahan, sayuran, produk minuman seperti susu dan daging (Simanjuntak, 2010). Adapun rinciannya adalah sebagai berikut:

1) Pada buah dan sayur

Pada buah dan sayur yang dapat difermentasikan misalnya ketimun, tomat, okra, wortel, lobak, bit, ubi jalar, labu, bawang, lemon, pisang dan yang lainnya. Fermentasi buah-buahan terjadi secara spontan oleh *mikroflora* bakteri asam laktat. Jumlah bakteri yang diperoleh dari makanan tradisional yang difermentasi pada buah dan sayur sangat banyak antara lain *Lactobacillus plantarum*, *L. pentosus*, *L. brevis*, *L. fermentum*, *L. casei*, *Leuconostoc mesenteroides*, *L. kimchi*, *L. fallax*, *Weissella confusa*, *W. koreensis*, *W. cibaria*, and *Pediococcus pentosaceus*. Adapun secara umum cara fermentasi sayur yaitu memilih sayur yang akan difermentasikan, dapat ditambahkan garam, dan ditempatkan pada wadah steril yang akan disimpan pada suhu dingin. Sedangkan untuk fermentasi buah yaitu memilih buah yang akan difermentasikan, dapat ditambahkan ragi, dimasukkan pada wadah steril dan disimpan pada tempat yang sejuk. Selain itu aplikasi fermentasi limbah sayuran seperti kubis dapat dijadikan

sebagai pengawet buah Anggur dan Stroberi. Adapun beberapa contoh fermentasi buah dan sayur yang ada di Asian antara lain (Swain et al., 2014).

- Kimchi

Kimchi merupakan makanan fermentasi yang berasal dari Korea. Bahan baku untuk fermentasi Kimchi banyak mengandung nutrisi yang dibutuhkan oleh bakteri asam laktat untuk berkembang biak (Yolanda & Eitiniarti, 2017). Kimchi akan menghasilkan asam laktat yang dapat mengawetkan atau memiliki daya anti bakteri. Kimchi terbuat dari sawi putih, lobak, bawang Bombay, cabai, jahe. Makanan kimchi banyak kandungan beta karoten, klorofil, vitamin c, dan makanan berserta sehingga baik untuk kesehatan.

- Sauerkraut

Sauerkraut adalah sejenis asinan Jerman berasal dari sayuran kol atau kubis, sawi, genjer, kangkung dan rebung yang difermentasikan dengan penambahan garam dan tidak perlu ditambahkan ragi/starter, hal ini dikarenakan bakteri asam laktat sudah terdapat pada sayuran tersebut (Hayati et al., 2017). Tujuan penambahan garam yang diberikan pada sayuran tersebut adalah untuk zat pengawet. Pemberian konsentrasi garam juga akan berpengaruh pada hasil produk sauerkraut yang menghasilkan cita rasa dan aroma yang khas.

- Tempoyak

Tempoyak merupakan fermentasi dari buah durian yang berasal dari Bengkulu. Pembuatan tempoyak sangat sederhana yaitu dengan cara pemeraman daging buah durian dalam kondisi anaerob. Buah durian digunakan untuk tempoyak biasanya yang rusak, terasa hambar, tekstur lunak dan tidak matang. Tempoyak dimanfaatkan sebagai campuran bumbu masakan. Ada empat spesies yang terdapat pada fermentasi tempoyak antara lain *P. acidilactici*, *L. plantarum*, *L. curvatus* dan *Leu. Mesentroides* (Hasanuddin, 2010).

- Sayur Asin

Pengolah sayuran yang mudah rusak dan busuk agar memperpanjang daya simpan, biasanya dimanfaatkan untuk sayur asin seperti pada sawi hijau. Dalam sayur asin terdapat bakteri asam laktat antara lain *Leuconodoc mesenteroide*, *Lactebacillus cucu. meris*, *L. plantarum* dan *L. Pentoaceticus*.

2) Produk minuman

Produk minuman fermentasi ragamnya banyak mulai dari pangan sampai energi. Produk minuman fermentasi yang lama dikenal adalah *wine*. Suatu produk pangan fungsional yang banyak dikonsumsi adalah minuman *probiotik*. Minuman *probiotik* merupakan minuman yang menguntungkan untuk saluran pencernaan karena terdapat bakteri asam laktat (BAL)(Rizal et al., 2016). Adapun minuman *probiotik* lainnya yaitu :

- Produk susu fermentasi

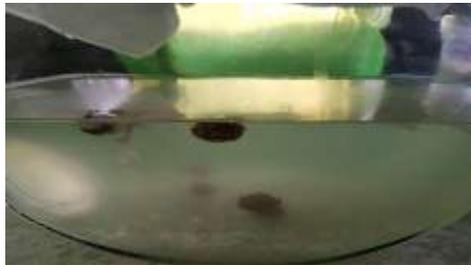
Produk susu fermentasi merupakan produk susu dengan bantuan mikroba baik yang akan menghasilkan warna, rasa, tekstur, dan flavor. Produk yang dihasilkan seperti minuman yakult, yoghurt, susu fermentasi berisai dan kefir. Selama proses fermentasi susu, aktivitas bakteri asam laktat akan menghasilkan asam laktat, asam format, dan asam asetat (Khikmah, 2015). Adapun manfaat susu fermentasi adalah dapat mencegah *intolerance lactose*, menjaga imunitas, melancarkan pencernaan.

Minuman yakult merupakan produk minuman susu fermentasi probiotik terdapat bakteri baik dan bermanfaat bagi kesehatan manusia. Bahan baku yang dipakai sebagai minuman fermentasi antara lain : Bakteri *Lactobacillus casei strain Shirota* susu skim non-fat, sukrosa (gula pasir), glukosa, stater Yakult dan air. Terdapat juga minuman yoghurt yaitu minuman fermentasi semi padat yang dibuat dari susu dengan penambahan bakteri *Streptococcus thermophilus* dan *Lactobacillus delbruecki sub sp, bulgaricus*. Sedangkan pada kefir adalah minuman yang menghasilkan asam dan alkohol yang berasal dari bakteri asam laktat dan khamir yang selama proses fermentasi (Martharini & Indratiningsih, 2017). Bahan baku kefir adalah dari susu yang ditambahkan *stater kefir grain* yang difermentasi selama 24 jam. Dengan berkembangnya teknologi yang

ada yoghurt berasal dari nabati yaitu kedelai, jagung, sari kulit nanas, ekstrak cincau hijau, sari kurma, buah naga merah (Rizal et al., 2016).

- Water kefir

Water kefir merupakan minuman probiotik inovasi dari kefir susu. Selain dari bahan baku susu, pembuatan kefir dapat menggunakan bibit water kefir grains dan dapat diolah menggunakan larutan gula, larutan teh, larutan sari buah serta dapat ditambahkan butiran kismis sebagai sumber nutrisi mikrobanya (Gambar 2). Hal ini sebagai upaya bagi masyarakat yang tidak menyukai susu. Bakteri asam laktat yang digunakan pada water kefir adalah (*Lactobacillus*, *Lactococcus*, dan *Leuconostoc*), khamir (*Saccharomyces* dan *Candida*), dan bakteri asam asetat (*Acetobacter*) yang akan menghasilkan asam dan beralkohol. Bibit water kefir grains yang digunakan lebih transparan. Rasa water kefir sedikit manis, asam, manis, dan sedikit beralkohol. Pada water kefir bermanfaat bagi kesehatan tubuh dan lebih *intolerance glucose* (Laureys, 2014).



Gambar 4.3 Water Kefir

- Komucha

Komucha merupakan salah satu tren minuman fungsional fermentasi dari simbiosis bakteri dan jamur pada larutan teh yang diberi gula dan stater kultur komucha (Simanjuntak et al., 2016). Kultur mikroba pada komucha berbentuk SCOBY (*Symbiotic Culture Of Bacteria and Yeast*) berbentuk seperti struktur selulosa (Gambar 3). Aktivitas khamir selama proses fermentasi melakukan perombakan gula (sukrosa) menjadi alkohol dan terjadi oksidasi alkohol menjadi asam asetat berasal dari bakteri

Acetobacter xylinum. Minuman komucha sangat bermanfaat bagi kesehatan, mengurangi kolesterol, dan inflamasi.(Sari & Irdawati, 2019).



Gambar 4.4 SCOBY (Symbiotic Culture Of Bacteria and Yeast)

b. Fermentasi jamur

Fermentasi jamur dapat dimanfaatkan pada kedelai dan kacang. Misalnya pada tempe merupakan hasil fermentasi oleh jamur yang terbuat dari berbagai varietas dan macam warna kedelai, sehingga menjadi makanan yang lezat dengan sumber protein yang tinggi. Adapun bentuk dari tempe yaitu padatan yang terbungkus oleh *miselia* berwarna putih yang berasal dari hifa dari jamur *Rhizopus*. Pada tempe terdapat asam lemak tidak jenuh yaitu *asam oleat*, *asam linoleat* dan *asam linolenat*. Selain itu juga terdapat vitamin larut lemak seperti vitamin E dan β -karoten (provitamin A) (Nurrahman et al, 2012).

c. Fermentasi alkohol

Fermentasi alkohol merupakan proses biologi dengan bantuan mikroorganisme untuk mengubah bahan organik menjadi komponen sederhana. Bahan baku yang menunjang pada fermentasi alkohol yaitu yang banyak mengandung karbohidrat tinggi, misalnya pada beras, ketan putih, singkong (Berlian et al., 2016). Adapun cara berfermentasinya dengan cara mengukus bahan-bahan tersebut, kemudian diletakkan di tampah untuk dikeringkan dan setelah dingin baru diberikan penambahan ragi. Selanjutnya menutup menggunakan daun pisang dan disimpan dalam tempat yang sejuk.

d. Fermentasi kadar garam tinggi

Pada tahap fermentasi dalam larutan garam mikroorganismenya yang berperan yaitu khamir dan bakteri yang toleran pada kadar garam tinggi. Hasil fermentasi kadar garam tinggi dimanfaatkan untuk ikan, kecap, dan tauco. Pada adalah hasil fermentasi dari bahan baku ikan yang diolah dengan diberi tambahan garam tanpa penambahan starter. Pemberian garam pada ikan berfungsi sebagai penyeleksi mikroorganismenya sehingga dapat menghasilkan enzim proteolitik (Thariq et al, 2014). Fermentasi kedelai hitam menghasilkan produk kecap. Pada kecap mikroorganismenya yang dimanfaatkan adalah jenis kapang, bakteri dan khamir contohnya *Aspergillus*, *Mucor* dan *Rhizopus*. Produk kecap adalah hasil dari filtrat fermentasi kedelai selama dalam larutan air garam berasal dari biakan mikroba *halofilik* dan selanjutnya protein dihidrolisis menjadi unsur asam amino dan peptida (Naiola & Soeka, 2007). Tauco merupakan bumbu makanan hasil fermentasi dari kedelai yang direndam dalam larutan garam natrium klorida dan menggunakan kapang *R. oligosporus*. Aktivitas antioksidan pada *tauco* relatif tinggi pada nilai IC50 2,96 ppm pada (Djayasoepena et al., 2014).

D. RANGKUMAN MATERI

Bioteknologi konvensional merupakan proses sederhana dari bioteknologi yang memanfaatkan bantuan mikroba, proses biokimia, dan genetika secara alami. Pada bioteknologi konvensional biasanya menggunakan biaya yang relatif murah. Pada bioteknologi konvensional pada bidang pertanian adalah hibridisasi, sedangkan pada bidang pangan yaitu fermentasi. Pada hibridisasi bertujuan untuk mendapatkan organisme yang diinginkan dalam perkawinan antar spesies atau varietas tanaman. Keragaman pada teknik hibridisasi yang diseleksi akan menghasilkan varietas sifat yang unggul. Sedangkan fermentasi adalah pengolahan teknologi yang menggunakan mikroba yang menghasilkan produk makanan dan minuman yang dapat menambah nilai gizi. Adapun macam fermentasi yang dikelompokkan berdasarkan prosesnya yaitu 1. Fermentasi asam laktat seperti asinan, tempoyak, susu fermentasi, dan yang lainnya, 2. Fermentasi jamur misalnya pada tempe, oncom, 3. Fermentasi alkohol seperti

pembuatan tape, roti, dan 4. Fermentasi kadar garam tinggi pada kecap, tauco, peda.

TUGAS DAN EVALUASI

1. Apa arti bioteknologi konvensional?
2. Bagaimana tahapan dalam hibridisasi?
3. Sebutkan faktor yang mempengaruhi dalam hibridisasi?
4. Bagaimana proses fermentasi berlangsung?
5. Sebutkan aplikasi fermentasi dalam pangan fungsional?

DAFTAR PUSTAKA

- Britannica, The Editors of Encyclopaedia. "Cross-pollination". Encyclopedia Britannica, 16 Jun. 2020, <https://www.britannica.com/science/cross-pollination>. Accessed 5 February 2021.
- Aliya, H., MASLAKAH, N., NUMRAPI, T., BUANA, A. P., & HASRI, Y. N. (2016). Pemanfaatan Asam Laktat Hasil Fermentasi Limbah Kubis Sebagai Pengawet Anggur Dan Stroberi. *Bioedukasi: Jurnal Pendidikan Biologi*, 8(2), 23. <https://doi.org/10.20961/bioedukasi-uns.v9i1.3878>
- Baskorowati, L. (2008). *HIBRIDISASI BUATAN Melaleuca alternifolia DENGAN JENIS*. 2(3), 1–8.
- Berlian, Z., Aini, F., Ulandari, R., Prodi, D., Biologi, P., Prodi, M., & Biologi, P. (2016). Uji Kadar Alkohol Pada Tapai Ketan Putih Dan Singkong Melalui Fermentasi Dengan Dosis Ragi Yang Berbeda. *Jurnal Biota*, 2(1), 106–111.
- Chisti, Y. (2010). Fermentation Technology. In *In:Industrial Biotechnology: Sustainable Growth and Economic Success*, Soetaert, W., Vandamme, E.J., eds, Wiley-VCH, New York (pp. 149–171). <https://doi.org/10.1080/00960845.1966.12006119>
- Djayasoepena, S., Korinna, G. S., Rachman, S. D., & Pratomo, U. (2014). Potensi Tauco Sebagai Pangan Fungsional. *Chimica et Natura Acta*, 2(2). <https://doi.org/10.24198/cna.v2.n2.9157>
- Faridah, H. D., & Sari, S. K. (2019). Utilization of Microorganism on the Development of Halal Food Based on Biotechnology. *Journal of Halal*

- Product and Research*, 2(1), 33. <https://doi.org/10.20473/jhpr.vol.2-issue.1.33-43>
- Handayani, T. (2014). *Persilangan untuk Merakit Varietas Unggul Baru Kentang*. 2014(004), 1–7.
- Hasanuddin. (2010). Mikroflora Pada Tempoyak (The Microflora Of Tempoyak). *Agritech*, 30(4), 218–222.
- Hayati, R., Fadhil, R., & Agustina, R. (2017). Analisis Kualitas Sauerkraut (Asinan Jerman) dari Kol (*Brassica oleracea*) selama Fermentasi dengan Variasi Konsentrasi Garam. *Rona Teknik Pertanian*, 10(2), 23–34. <https://doi.org/10.17969/rtp.v10i2.8937>
- Khikmah, N. (2015). Uji Antibakteri Susu Fermentasi Komersial Pada Bakteri Patogen. *Jurnal Penelitian Saintek*, 20(1), 45–52. <https://doi.org/10.21831/jps.v20i1.5610>
- Kristantini. (2005). Pemuliaan Tanaman Untuk Ketahanan Terhadap Penyakit Plant Breeding To Disease Resistant With. *Agro*, 7(1), 22–28.
- Kurniati, R. (2018). Perakitan Varietas Baru Mawar Melalui Persilangan Konvensional. *Balai Penelitian Tanaman Hias Segunung, IPTEK HORTIKULTURA*, 1–8.
- Laureys, D. (2014). Water kefir as a promising low-sugar probiotic fermented beverage. *Archives of Public Health*, 72(S1), P1. <https://doi.org/10.1186/2049-3258-72-s1-p1>
- Martharini, D., & Indratiningsih, I. (2017). Kualitas Mikrobiologis dan Kimiawi Kefir Susu Kambing dengan Penambahan *Lactobacillus acidophilus* FNCC 0051 dan Tepung Kulit Pisang Kepok (*Musa Paradisiaca*) Microbiological and Chemical Quality of Goat Milk Kefir with the Addition of *Lactobacillus acidoph.* *Agritech*, 37(1), 22–29.
- Marwoto, B., Badriah, D. S., Dewanti, M., & Sanjaya, L. (2012). Persilangan Interspesifik dan Intergenerik Anggrek Phalaenopsis Untuk Menghasilkan Hibrid Tipe Baru. *Prosiding Seminar Nasional Anggrek*, 101–116.
- Montet, D., Ray, R. C., & Zakhia-Rozis, N. (2014). Lactic acid fermentation of vegetables and fruits. *Microorganisms and Fermentation of Traditional Foods*, August, 108–140. <https://doi.org/10.1201/b17307>
- Naiola, E., & Soeka, Y. S. (2007). Fermentasi Kecap Dari Beberapa Jenis Kacang-kacangan dengan Menggunakan Ragi Mutan *Aspergillus* sp. K-

- 1 dan *Aspergillus* sp. K-1A [Fermentation of Kecap (Soy Sauce) from Different Kinds of Beans by Using Improved Inoculum *Aspergillus* sp. K-1 and *Aspergillus*. *Jurnal Berita Biologi*, 8(5), 365–373. http://e-journal.biologi.lipi.go.id/index.php/berita_biologi/article/view/1898
- Nurrahman, Mary Astuti, Suparmo, M. H. S. (2012). Pertumbuhan Jamur, Sifat Organoleptik dan Aktivitas Antioksidan Tempe Kedelai Hitam yang Diproduksi dengan Berbagai Jenis Inokulum. *Agritech: Jurnal Fakultas Teknologi Pertanian UGM*, 32(1), 60–65. <https://doi.org/10.22146/agritech.9657>
- Rahmawati, Dwi, T. Y. dan S. M. (2014). UJI INBREEDING DEPRESSION TERHADAP KARAKTER FENOTIPE TANAMAN JAGUNG MANIS (*Zea mays* var. *Saccharata* Sturt) HASIL SELFING DAN OPEN POLLINATED 1). *Jurnal Ilmiah Inovasi*, 14(2), 145–155.
- Rizal, S., Erna, M., Nurainy, F., Teknologi, J., Pertanian, H., Pertanian, F., & Lampung, U. (2016). Karakteristik Probiotik Minuman Fermentasi Laktat Sari Buah Nanas dengan Variasi Jenis Bakteri Asam Laktat Probiotic Characteristic of Lactic Fermentation Beverage of Pineapple Juice with Variation of Lactic Acid Bacteria (LAB) Types mengonsumsi minuman. *Indonesian Journal of Applied Chemistry*, 18(June), 63–71.
- Sari, P. A., & Irdawati, I. (2019). Kombucha Tea Production Using Different Tea Raw Materials. *Bioscience*, 3(2), 135. <https://doi.org/10.24036/0201932105584-0-00>
- Setiawati, T., Karuniawan, A., & Supriatun, T. (2016). Interspecific Crossing between *Ipomoea batatas* (L.) Lam. and The Tubered-Bearing *I. trifida* (H.B.K.) G. Don. Originated from Citatah, West Java. *Buletin Kebun Raya*, 19(1), 11–20.
- Simanjuntak, Desnilawati Hotmaria, Herpandi, S. D. L. (2016). *Pistia stratiotes*. *Jurnal Teknologi Hasil Perikanan*, 5(2), 123–133. <https://doi.org/10.1201/b16160-141>
- Simanjuntak, R. (2010). Badan Ketahanan Pangan Edit.pdf. *Buletin Ketahanan Pangan*, 3(2).
- Sitepu, M., Rosmayati, R., & Bangun, M. (2014). Persilangan Genotipe-Genotipe Kedelai (*Glycine Max* L. Merrill.) Hasil Seleksi Pada Tanah Salin Dengan Tetua Betina Varietas Anjasmoro. *Jurnal Agroekoteknologi Universitas Sumatera Utara*, 3(1), 103147.

<https://doi.org/10.32734/jaet.v3i1.9475>

- Suryani, Y., Hernaman, I., & Ningsih, N. (2017). Pengaruh Penambahan Urea Dan Sulfur Pada Limbah Padat Bioetanol Yang Difermentasi Em-4 Terhadap Kandungan Protein Dan Serat Kasar. *Jurnal Ilmiah Peternakan Terpadu*, 5(1), 13. <https://doi.org/10.23960/jipt.v5i1.p13-17>
- Sutarno, S. (2016). Rekayasa Genetik dan Perkembangan Bioteknologi di Bidang Peternakan. *Proceeding Biology Education Conference*, 13(1), 23–27.
- Swain, M. R., Anandharaj, M., Ray, R. C., & Parveen Rani, R. (2014). Fermented Fruits and Vegetables of Asia: A Potential Source of Probiotics. *Biotechnology Research International*, 2014, 1–19. <https://doi.org/10.1155/2014/250424>
- Thariq, Ahmad Sofie, Fronthea Swastawati, T. S. (2014). Jurnal Pengolahan dan Bioteknologi Hasil Perikanan Online di : <http://www.ejournal-s1.undip.ac.id/index.php/jpbhp> Jurnal Pengolahan dan Bioteknologi Hasil Perikanan Volume 4 , Nomer 2 , Tahun 2015 , Halaman 1-10. *Jurnal Pengolahan Dan Bioteknologi Hasil Perikanan*, 3(3), 104–111.
- Widyasmara, N. I., Kusmiyati, F., & Agroecotechnology, K. (2018). Efek xenia dan metaxenia pada persilangan tomat ranti dan tomat cherry (Xenia and metaxenia effect on ranti tomato and cherry tomato cross pollination). *J. Agro Complex*, 2(2), 128–136.
- Widyastuti, Y., Rumanti, I. A., Behaviour, F., Lines, P., & Rice, H. (2015). Perilaku Pembungaan Galur-galur Tetua Padi Hibrida. *Iptek Tanaman Pangan*, 7(2), 67–78.
- Winawati, N. I. D., Ardiarini, N. R., & Damanhuri. (2017). PERBEDAAN WAKTU EMASKULASI TERHADAP KEBERHASILAN PERSILANGAN GANDUM (*Triticum aestivum* L .) DI CANGAR BATU THE DIFFERENCE TIME EMASCULATION OF SUCCESS IN CROSSING OF WHEAT (*Triticum aestivum* L .) IN CANGAR BATU. *Jurnal Produksi Tanaman*, 5(3), 410–416.
- Yolanda, B. E., & Eitiniarti, V. I. I. R. M. (2017). *Kemampuannya Menghasilkan Senyawa Anti Bakteri*. 4(September), 165–169.
- Yunianti, R., Sriani S., M. S. (2010). *Teknik Persilanganan Buatan*. ICWI KORWIL BOGOR.

<http://repository.ipb.ac.id/handle/123456789/60268>



BIOTEKNOLOGI MODERN (KLONING DAN REKAYASA GENETIKA PADA HEWAN TERNAK)

Dr. Hidayati, S.Pt., M.P.

**Program Studi Peternakan Fakultas Pertanian dan Peternakan UIN
Sultan Syarif Kasim Riau Pekanbaru**

A. PENDAHULUAN

Produk rekayasa genetik baik yang berasal dari tanaman ataupun hewan ternak telah tersebar luas di tengah masyarakat. Pro kontra terhadap produk pangan hasil rekayasa genetik muncul di tengah-tengah masyarakat, menimbulkan kegelisahan apakah produk pangan hasil rekayasa genetik dan kloning baik, sehat, aman dan halal untuk dikonsumsi dalam jangka waktu pendek ataupun panjang. Kloning dan rekayasa genetik pada hewan ternak dan tanaman juga dapat mempengaruhi keberadaan dan kelestarian ekosistem di bumi ini. Kloning pada ternak mengakibatkan munculnya keseragaman pada populasi ternak yang tentunya berdampak positif dan negatif dalam manajemen pemeliharaannya. Teknologi rekayasa genetik juga memungkinkan tercampurnya gen-gen inter dan antar species ternak jika tidak dilakukan dengan perencanaan yang baik dan benar

sehingga mengakibatkan tergerusnya sumber daya genetik ternak di masa yang akan datang.

Disisi lain tidak dapat dipungkiri pula bahwa kemajuan teknologi kloning dan rekayasa genetik pada ternak memberikan manfaat yang signifikan ditinjau dari aspek produksi, farmasi, pelestarian hewan-hewan langka dan dalam pengobatan penyakit-penyakit degeneratif yang tidak dapat disembuhkan karena bersifat baka. Kesimpangsiuran informasi mengenai teknik atau metode yang digunakan dalam rekayasa genetik dan kloning ternak memunculkan berbagai *issue* di tengah-tengah masyarakat seperti penggunaan hewan babi dan hewan-hewan yang diharamkan dalam proses rekayasa genetik tersebut.

Untuk itu perlu adanya informasi mengenai apa itu kloning dan metode kloning, metode rekayasa genetik, sejarah dan perkembangannya pada hewan ternak serta manfaat, tantangan dan kekhawatiran dari pangan atau produk hasil ternak transgenik dan kloning.

B. PENGERTIAN KLONING DAN METODE KLONING

Kloning berasal dari Bahasa Yunani yaitu *clone* yang berarti cabang atau batang. Pada awalnya istilah tersebut digunakan untuk perbanyakan tanaman tanpa melalui pembuahan atau dilakukan secara aseksual. Namun dalam perkembangannya, istilah kloning juga digunakan terhadap perbanyakan organisme lainnya, baik uniseluler ataupun multiseluler dimana organisme yang dihasilkan memiliki genetik yang identik dengan organisme yang berperan sebagai donor sel inti (Sunny Wangko, 2010). Kegiatan kloning juga dapat diartikan sebagai usaha memfotocopy ternak donor sel sehingga dihasilkan organisme duplikat yang memiliki genetik persis sama dengan ternak donor sel tersebut.

Beberapa metode *cloning* yang dilakukan pada ternak adalah metode *splitting embryo*, metode *blastomere dispersial*, metode *Somatic Cell Nuclear Transfer* (SCNT). Teknik embrio *splitting* bertujuan untuk menghasilkan ternak kembar identik. Embrio *splitting* dapat terjadi secara alami atau buatan. Embrio *splitting* secara alami yaitu pembelahan satu embrio (berasal dari satu sperma jantan dan satu sel telur betina) menjadi 2 atau lebih embrio yang berkembang menjadi beberapa anak yang terjadi pada kelahiran kembar identik (kembar monozigotik). Pemisahan embrio

secara buatan atau dikenal dengan istilah *artificial embryo splitting* pada hewan ternak telah dilaporkan pada beberapa jenis ternak, dengan tingkat keberhasilan yang bervariasi. Pemisahan embrio dilakukan pada saat embrio berada dalam *fase blastomere*. Pemisahan dapat dilakukan satu sampai empat kali, tergantung pada *species* ternak dan kondisi *grade embrio* (Tabel 1) (Karl Illmensee, 2010). Namun peningkatan jumlah *blastomer* yang diperoleh tidak berbanding lurus dengan peningkatan jumlah *blastokista* yang layak untuk ditransfer. Hal ini diduga disebabkan karena 1) pemisahan embrio mengakibatkan perubahan traumatis pada embrio 2) kondisi dan komposisi media kultur yang berbeda antara embrio utuh dan *blastomere* terpisah 3) perbedaan potensi perkembangan antara *blastomere* tunggal dan *blastomere* terpisah (Hsun-Han Tang, 2012). Kualitas embrio yang dihasilkan tergantung pada keteraturan bentuk embrio, kekompakan *blastomere*, variasi ukuran sel, warna dan tekstur sitoplasma, diameter keseluruhan dari embrio, adanya sel yang di ekstruksi, keteraturan zona pelusida, adanya vesikel (seperti struktur gelembung kecil di sitoplasma). Metode *blastomere dispersial* adalah suatu teknik pemisahan secara mekanik sel-sel individual sebelum pembentukan *blastosit* pada hewan (Tenriawaru, 2013).

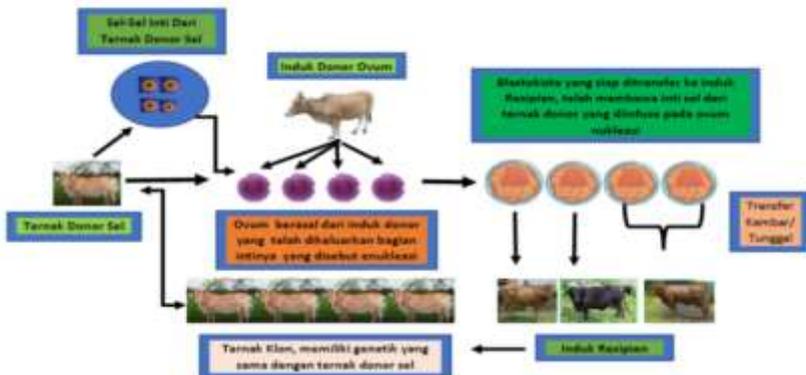
Tabel 5.1 Grade Blastokita

Blastokita	Grade I	Grade II	Grade III
Masa Sel Dalam (<i>Inner Mass Cell</i>)	Banyak dan Padat	Beberapa dan dikemas secara longgar	Jumlah sel sedikit
<i>Tropectoderm</i>	Banyak sel yang terorganisir di epithel	Beberapa sel diatur longgar dalam epithel	Sedikit sel
Blastocele	Blastocele mengisi blastokita	Blastocele mengisi lebih separuh dari blastokita	Blastocele mengisi kurang separuh dari blastokita

Sumber: (Hsun-Han Tang, 2012)

Kegiatan kloning pada hewan ternak menggunakan metode *Somatic Cell Nuclear Transfer* (SCNT), merupakan suatu rangkaian kegiatan yang melibatkan ternak donor sel inti yang akan diduplikat individunya, ternak donor sel telur sebagai wadah tempat dilekatkannya sel inti donor sehingga mampu berkembang menjadi embrio (*blastokita*), dan ternak resipien yaitu ternak yang akan menerima embrio sehingga mampu berkembang menjadi feotus dan siap untuk dilahirkan. Kegiatan kloning melibatkan suatu rangkaian kegiatan yang panjang serta membutuhkan keahlian, alat dan bahan yang tidak murah serta waktu pelaksanaan yang tepat.

Secara ringkas dapat dijelaskan pada Gambar 1 bahwa kloning dengan metode SCNT adalah menempatkan sel somatik dari ternak donor ke dalam sel telur yang tidak fertil atau tidak dibuahi yang telah dihilangkan inti selnya yang dikenal dengan istilah enukleasi. Selanjutnya sel telur dengan inti baru tersebut, ditransfer pada induk resipien agar dapat berkembang menjadi feotus. Sel somatik donor yang ditempatkan memiliki dua set kromosom yang lengkap, namun tidak mengandung DNA *mitokondria* donor. DNA *mitokondria* tidak ditemukan pada inti sel, namun ditemukan di dalam plasma sel (mitokondria sel) (Hidayati, 2020). Keberhasilan metode SCNT dipengaruhi beberapa faktor yaitu keadaan sel donor dan sel telur, siklus reproduksi dari betina resipien, metode enukleasi oosit dan media culture in vitro (Do VH, 2014).

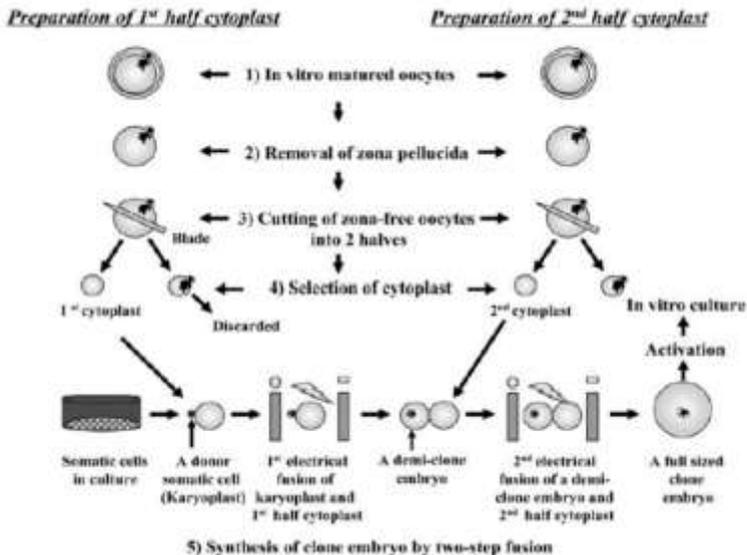


Gambar 5.1 Prosedur Kloning Ternak Menggunakan Metode SCNT.

Beberapa metode enukleasi yang digunakan untuk menghilangkan inti selnya yaitu *blind enucleation* dengan cara aspirasi sedikit volume dari sitoplasma oosit termasuk badan kutub pertama, *oocyte bisection* (pembelahan oosit), *enucleation with Hoechst staining and UV light* (enukleasi dengan pewarnaan Hoechst dan Sinar UV), *enucleation by herniation of the first polar body and the surrounding cytoplasm* (enukleasi dengan herniasi badan kutub pertama dan sitoplasma sekitarnya), *DNA fluorochrome SYBR14-assisted enucleation* (enukleasi dengan bantuan fluorochrome SYBR14), *Noninvasive enucleation using pool-scope microscope* (metode enukleasi noninvasif menggunakan mikroskop *pool-scope*), *sugar pretreatment enucleation* (enukleasi pretreatment gula), *handmade cloning* (metode penghilangan inti sel telur dengan membelah sel telur menggunakan metal blade), *the bulk enucleation of zona free mammalian oocyte using centrifugation* (metode enukleasi menggunakan sentrifugasi dengan prinsip perbedaan kerapatan dari chromatin dan kandungan sitoplasma) (Takashi Nagai, 2007).

Pengembangan dari metode SCNT melahirkan metode kloning menggunakan dua sel telur yang telah dibuang inti selnya dan bagian zona pelusida sebagai resipien sitoplasma dikenal dengan metode *Handmade Somatic Cell Cloning (HSCC)* (Takashi Nagai, 2007). *Zona pelusida* oosit sapi betina dewasa dibuang dengan cara menginkubasi dengan 1.5 mg/mL pronase pada suhu 39°C selama 10-15 menit. *Zona free oocyte* akan berada pada bagian atas dan dipisahkan menggunakan *ultra sharp splitting blades* dibawah kontrol *stereomicroscopic*. Lalu sel telur tersebut dilakukan pewarnaan menggunakan 10 µg/mL *fluorochrome Hoechst 33342* selama 5 menit, dilanjutkan untuk pengecekan sel telur yang tidak mengandung kromatin (cytoplast) menggunakan mikroskop dan sinar UV. Sel telur enukleasi yang dikoleksi dimatangkan selama 23-24 jam dilanjutkan dengan electrical fusion yaitu dengan meletakkan sel telur enukleasi pertama (the first cytoplast) pada cawan yang mengandung 500 µg/mL *phytohaemagglutinin* (Sigma L 8754) selama 3 detik, selanjutnya dijatuhkan satu sel somatis (sel inti donor) secara cepat ke dalam cawan. Selanjutnya *cytoplast-somatic cell* diambil dan dipindahkan ke chamber yang berisi 2 mL 26-27 °C media fusion (0,3 M mannitol, 0,1 mM MgSO₄ dan 0,05 mM CaCl₂), diinkubasi selama 2-3 menit dan dialiri arus listrik bolak balik dengan

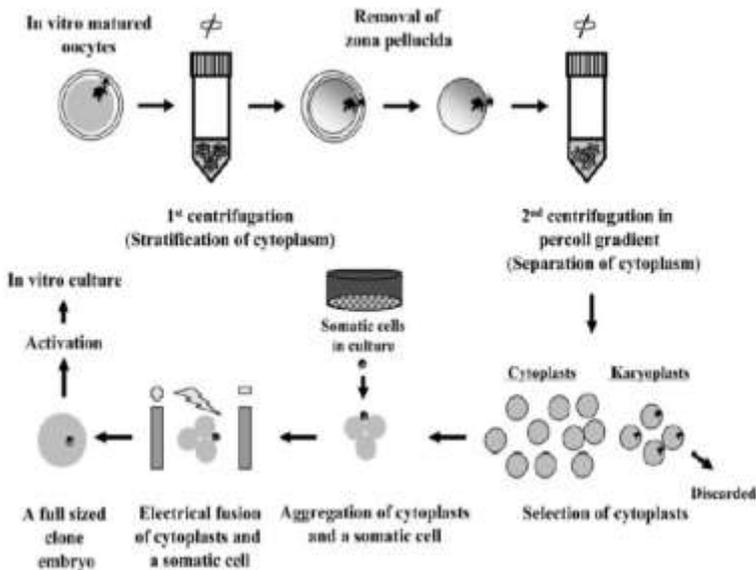
tegangan 15 Volt dan 700 kHz, selanjutnya fusi pertama dilakukan dengan arus searah ganda dengan tegangan 65 Volt, masing-masing pulse berlangsung selama 20 mikro detik dan menjadi 0,1 detik per bagian. Selanjutnya dipindahkan ke cawan lain secara hati-hati dan diinkubasi selama 15-30 menit untuk memastikan apakah embrio demi-clone telah terbentuk dan fusi berlangsung dengan baik. Selanjutnya *electrical fusion* yang kedua berlangsung antara embrio demi clone dengan *cytoplasm* lainnya (*second cytoplasm*) dengan cara yang sama dengan metode *electrical fusion* yang pertama, namun arus searah ganda menggunakan tegangan 45 Volt dan inkubasi dilakukan selama 20 menit pada media kultur sehingga membentuk embrio klon. Embrio klon selanjutnya dipindahkan ke dalam sistem WOW (*the well of the well*) yang berisi 400 μL dari medium kultur terdiri dari medium SOFaa yang disuplementasikan dengan 5% calf serum dan mineral oil dan diinkubasi pada suhu 39°C dengan kelembaban 5% CO_2 , 5% O_2 , dan 90% N_2 . Aktivasi dilakukan 28 jam setelah awal pematangan (atau sekitar 4 jam setelah dilakukannya fusi). Selanjutnya embrio clone dimatangkan pada medium yang mengandung 2 mM Ca ionophore A 23187 selama 5 menit pada suhu ruang (Gambar 2).



Gambar 5.2 Prosedur *Handmade Somatic Cell Cloning* (Takashi Nagai, 2007)

Metode lain yang digunakan untuk menghasilkan embrio klon adalah metode penghilangan inti dengan *sentrifugasi gradient* zona bebas oosit dan fusi yang dikenal dengan istilah metode *Centri Fusion Cloning* (Takashi Nagai, 2007). Sel telur resipien yang telah dimatangkan secara invitro dihilangkan bagian cumulus sel menggunakan paparan 150 IU/m *hyaluronidase* selama 2-3 menit pada tabung dan dianjurkan dengan *divortex* selama 1 menit untuk memisahkan sisa-sisa sel *cumulus*. Oosit yang telah bebas sel *cumulus* selanjutnya dikoleksi di bawah mikroskop dan dipindahkan ke tabung *sentrifus* 1,5 mL dan selanjutnya *disentrifus* dengan kecepatan 13.000 x g selama 9 menit untuk stratifikasi sitoplasma. Oosit yang telah matang ditandai dengan terbentuknya *first polar body* yang digunakan lebih lanjut. Selanjutnya penghilangan zona pelusida menggunakan *pronase* 0,5% (W/V) selama 2- 3 menit. Selanjutnya oosit dengan zona *pelusida* yang tipis diinkubasi di media kultur selama 10 menit pada suhu 39°C dan selanjutnya zona pelusida yang masih ada dibuang. Setelah beberapa kali pencucian, selanjutnya oosit dimasukkan ke media kultur (*Percoll*, *Amersham Bioscience*, *Uppsala*, *Sweden*) yang disuplementasikan dengan 5 µg/m *chytochalsin B* pada tabung *mikrosentrifuge* yang selanjutnya *disentrifus* pada kecepatan 5.000 g selama 4 detik. *Chytochalsin B* berfungsi untuk menghentikan pembentukan badan polar (Tenriawaru, 2013). Setelah beberapa kali pencucian untuk menghilangkan *percoll*, selanjutnya *oocyte cytoplasmic fragments* (OFCs) diseleksi yang berukuran diameter lebih dari 50 µm. Selanjutnya OFCs diwarnai dengan 5 µg/m *Hoechst 3342* selama 30 menit dan diuji di bawah mikroskop epifluorescence untuk menyeleksi OFCs tanpa inti (*cytoplast*). Selanjutnya 3 *cytoplast* dan 1 *karyoplast* pada larutan *phytohemagglutinin* (PHA, 300 µg/mL) dilarutkan dalam PBS dan dipindahkan ke TCM-199 yang mengandung satu sel cumulus yang besar. Satu sel inti donor ditempatkan pada *cytoplast*. *Electrical fusion* pertama dilakukan dengan larutan fusi (0,28 M larutan *mannitol* terdiri dari 0,05 mM CaCl₂ dan 0,1 mM MgSo₄) dengan perbandingan 1:1, dan tegangan yang digunakan 1,5 kV/cm selama 20 µdetik. Aktivasi menggunakan 5 µg/mL *cytochalsin B* selama satu jam pada suhu 38,5°C. *Electrical fusion* kedua dilakukan pada tegangan 0.8 kV/cm selama 30 µdetik, selanjutnya embrio diinkubasi pada medium kultur (yang mengandung 4mg/mL BSA, 0.17 mM

piruvat dan 2,73 mM sodium laktat) dan 5 µg/mL *cytochalasin B* selama 2 jam (Gambar 3). Selanjutnya embrio dimatangkan sampai hari ketujuh menggunakan metode *well of well* (WOW method).



Gambar 5.3 Metode Centri Fusion Cloning (Takashi Nagai, 2007).

C. REKAYASA GENETIKA PADA HEWAN TERNAK

Upaya mengubah genetik ternak dengan genetik ternak lainnya sehingga didapatkan hasil sesuai dengan tujuan yang diharapkan disebut dengan rekayasa genetik. Kegiatan rekayasa genetik meliputi suatu rangkaian kegiatan yang kompleks meliputi identifikasi gen dan ekspresi gen, asosiasi keragaman genetik dengan ekspresi fenotipenya sehingga menemukan *Marker Assisted Selection* (MAS), manipulasi genom, kloning gen, transfer gen dari sel, jaringan, maupun organ (Sutarno, 2016). Melalui proses rekayasa genetik ini, telah berhasil dikembangkan berbagai organisme maupun produk yang menguntungkan bagi kehidupan manusia.

Keragaman gen sebagai dasar dalam menemukan MAS dapat diidentifikasi menggunakan beberapa metode yaitu 1). *Restriction Fragment Length Polymorphisms* (RFLPs) yaitu menentukan keragaman

DNA menggunakan enzim restriksi yang dihasilkan oleh bakteri yang mampu memotong DNA pada titik tertentu (titik rekognisi) menjadi beberapa bagian DNA, 2) *Random Amplified Polymorphic DNA* (RAPD), 3) *Amplified Fragment Length Polymorphisms* (AFLP), 4) Minisatelit menentukan keragaman DNA berdasarkan sekuens yang muncul berulang (terdiri dari 25 Basa) pada sekuens DNA, 5) *Mikrosatelit*, sekuens berulang (terdiri dari 5-10 basa) yang muncul pada sekuens DNA dan 6) *Sekuensing* penentuan mutasi basa nukleotida pada sekuens DNA yang disebut dengan *Single Nucleotida Polymorphisms* (SNPs)

Transfer gen memerlukan tiga persyaratan dasar yaitu 1) segmen DNA yang menyusun gen harus diisolasi 2) Harus stabil terintegrasi ke dalam genom individu sehingga transgen diteruskan ke keturunan 3) gen harus diekspresikan pada tingkat yang diinginkan pada individu yang membawanya. Dua metode transfer gen yaitu injeksi *pronuklir* pada mamalia dan *retroviral vector* dilakukan pada burung (Hoeschele, 1990). Transfer gen pada ternak telah digunakan untuk gen-gen yang berhubungan dengan pertumbuhan, komposisi susu (casein), resistensi terhadap mastitis dan tidak adanya tanduk (Hoeschele, 1990), terapi gen untuk menyembuhkan penyakit karena kelainan gen, menghasilkan organ yang dapat di transpalasikan pada manusia dan menghasilkan protein untuk terapeutik bagi kesehatan manusia (Montaldo, 2006).

Genotipe dari ternak transgenik dilambangkan dengan TO (*hemizygote*), IT (*homozygote*) sedangkan untuk ternak non transgenik dilambangkan dengan OO. Ternak *hemizygous* memiliki transgen terintegrasi pada satu kromosom tertentu tetapi tidak ada *allele* yang setara (sama atau berbeda) pada kromosom homolog (Hoeschele, 1990).

D. SEJARAH DAN PERKEMBANGAN KLONING PADA BEBERAPA SPECIES HEWAN TERNAK

Keberhasilan kloning pada hewan ternak ditandai pertama kali oleh lahirnya domba yang diberi nama Dolly pada tanggal 5 Juli 1997 oleh Sir Ian Wilmut, seorang embriologiwan dari Inggris yang berhasil mengklon dari sel somatis seekor domba dewasa *breed Finnish Dorset* (I. Wilmut, 1997) *Breed Finnish Dorset* merupakan *breed* hasil persilangan antara *breed Finnsheep* (50%) dan *breed Dorset* (50%). Domba tersebut diberi nama Dolly, diambil

dari nama aktris ternama dari Amerika Serikat yang bernama Dolly Parton, karena domba klon ini berasal dari kloning sel kelenjar *mammae*. Domba Dolly ini dikawinkan dengan seekor pejantan dan melahirkan empat ekor anak. Pada bulan Januari 2002, Domba Dolly mengalami radang sendi (*arthritis*) pada kaki belakangnya dan mengalami penyakit paru-paru yang semakin parah, dan mati pada tanggal 14 Februari 2003 (Bartlett, 2019). Walaupun domba dolly mampu bertahan hidup selama 6 tahun, namun sepanjang hidupnya Domba Dolly termasuk ternak yang rentan terhadap penyakit dan tidak dapat digembalakan seperti ternak lainnya. Hal ini diduga domba Dolly mengalami penuaan dini, karena domba dolly berasal dari sel kelenjar *mamae* domba dewasa yang telah berumur 6 tahun sehingga umur kronologisnya tidak sama dengan umur biologis sel yang sebenarnya.

Selanjutnya pada tahun 1998, dilaporkan keberhasilan dalam mengkloning sapi dari sel-sel *cumulus* dan sel-sel kelenjar *epitel* dari *oviduct* seekor sapi potong betina lokal jepang (*Japanese beef cattle*) (Yoko Kato, 1998). Hasil klon dari sel-sel *cumulus* menghasilkan 6 *blastocyt* sedangkan 4 *blastocyt* berasal dari sel-sel *epitel*. Selanjutnya *blastocyt* tersebut ditransfer pada induk sapi betina pada hari ke 7 atau ke 8 setelah estrus, dimana masing-masing induk resipien dititipi 2 *blastocyt*. Jumlah induk resipien yang digunakan 5 ekor. Dalam perkembangannya dari sepuluh *blastocyt*, hanya 8 ekor yang berhasil dilahirkan dengan rincian 6 ekor dilahirkan secara normal dua ekor secara operasi caesar. Lima ekor anak klon berasal dari sel-sel *cumulus oophorus* dan 3 ekor berasal dari sel-sel *epitel oviduct*. Namun dari 8 ekor anak yang berhasil dilahirkan hanya 4 ekor yang bertahan hidup, empat ekor lainnya mati sesaat dan setelah lahir karena faktor lingkungan dan tidak ditemukan abnormalitas. Hasil pengecekan *genome* anak sapi hasil kloning menggunakan 22 penanda *mikrosatelit* menunjukkan, 3 *marker mikrosatelit* (DIK 106, AG 310, DIK 102), tidak terdeteksi sama sekali, sedangkan 19 *marker mikrosatelit* lainnya menunjukkan bahwa semua anak klon memiliki genetik yang identik dengan induk sapi donor sel dan berbeda dengan induk resipiennya.

Keberhasilan kloning pertama pada kambing transgenik yang memiliki gen *Recombinant Human Antithrombin III* (rhAT) terhadap kelenjar susu dilaporkan pada tahun 1999, dimana 3 ekor kambing transgenik dihasilkan

melalui transfer inti somatis janin sel atau disebut juga *nuclear transfer of fetal somatic cell* (Alexander Baguisi, 1999). Inti somatis berasal dari janin hasil dari perkawinan 2 ekor induk kambing non transgenik dan kambing jantan transgenik (*goat β -casein-hAT cDNA transgene*). Pengujian kemiripan genetik anak kambing hasil kloning dengan pejantan transgenik sebagai donor sel diuji dengan metode *Shouthern Blot Analysis*, hibridisasi menggunakan enzim EcoRI dan kesamaan genetik dari gen MHC Class II, gen DRB/Rsal, pada bagian ekson ke enam dengan teknik PCR-RFLP menunjukkan bahwa genetik anak kambing klon identik dengan genetik pejantan transgenik.

Pada tahun 2002, keberhasilan kloning pada babi telah dilaporkan (Xi Jun Yin, 2002). Babi kloning diproduksi setelah transfer telur yang dimatangkan secara invitro dan menerima transfer inti sel somatis dewasa yang kromosomnya dihilangkan secara kimiawi. Sel donor diambil dari bagian hati, jantung, ginjal, otot, telinga, saluran telur, dan *sel cumulus* dari seekor babi *Landrace* betina umur 4 tahun dan sel donor berasal dari fetus babi yang diambil dari rumah jagal, yang tidak diketahui breed dan umurnya. Hasil penelitian menunjukkan keberhasilan kloning babi berasal dari sel jantung betina donor yang menghasilkan 8 ekor anak klon. Hasil analisis dari *marker mikrosatelit* babi (SW717, SW936, SW1311, SW1327, and SWR414), menunjukkan kesamaan genetik antara ternak klon dengan ternak donor sel yang menunjukkan berhasilnya kloning yang dilakukan.

Pada kuda, keberhasilan kloning dilaporkan pada tahun 2003, yaitu pada kuda *Arabian Thoroughbred* jantan dan *breed Haflinger* betina (Cesare Galli, 2003). Sel donor diambil dari biopsi kulit. Diperoleh 22 *blastocyt* yang berkembang, 8 berasal dari kuda *thoroughbred* jantan dan 14 dari kuda *haflinger* betina. Selanjutnya 8 *blastocyt* dari kuda jantan dan 9 *blastocyt* dari kuda betina ditransfer kepada 9 ekor kuda betina resipien. Dua dari embrio kloning direkonstruksi dengan sel-sel betina, dipindahkan ke kuda betina *Haflinger* donor. Setelah 21 hari transfer embrio, dilakukan uji kebuntingan menggunakan USG yang menunjukkan adanya 4 betina resipien bunting. Dalam perkembangannya 2 embrio hilang dan satu mengalami aborsi pada usia kebuntingan 187 hari sehingga hanya satu ekor kuda klon yang berhasil dilahirkan dengan berat 36 kg dengan lama bunting 336 hari. Kesamaan genetik ternak hasil kloning dengan kuda sel donor diuji

menggunakan 12 *marker mikrosatelit* untuk kuda yang menunjukkan hasil bahwa genetiknya identik.

Pada kerbau, keberhasilan kloning dilaporkan tahun 2007 yaitu pada kerbau lokal cina (*Chinese Swamp buffalo*) *non transgenic*. Empat puluh dua *blastocyst* yang berasal dari sel-sel *granulosa* induk kerbau umur 15 tahun dan *fetal fibroblast*, ditransfer ke 21 ekor induk kerbau resipien pada hari ke enam setelah estrus. Setiap resipien menerima dua embrio dan pengecekan kebuntingan dilakukan secara palpasi pada hari ke 60 setelah ditransfer, hanya empat ekor induk yang berhasil bunting. Dari empat ekor induk resipien yang bunting, satu ekor mengalami aborsi pada hari ke 300 dari kebuntingan dan mengandung 2 anak betina prematur (berat masing-masing anak 9 dan 17 kg). Satu ekor induk resipien lainnya disesar pada hari ke 343 kebuntingan dan melahirkan seekor anak betina yang berasal dari *fetal fibroblast*, dan hanya bertahan hidup selama 20 hari setelah dilahirkan. Adapun 2 induk resipien lainnya berhasil melahirkan anak dengan variasi lama bunting 338-349 hari. Selanjutnya satu induk melahirkan 2 anak secara normal pada hari ke 349 kebuntingan yang berasal dari embrio sel-sel *granulosa* dan satu ekor anak betina dari *fetal fibroblast* pada hari ke 338 kebuntingan pada induk resipien lainnya dengan berat lahir anak normal (29 kg, 23 kg dan 23 kg). Persamaan genetik antara ternak yang diklon dengan anak-anaknya diuji dengan 20 *marker mikrosatelit* (ILSTS038, ILSTS097, ILSTS008, ILSTS028, CSRM60, CSSM047, CSSM019, BM1818, CSSM036, ILSTS020, ILSTS030, CSSM032, ILSTS029, ILSTS061, CSSM66, ILSTS019, BM1824, CSSM022, CSSM033, and CSSM041) yang menunjukkan hasil bahwa kerbau hasil klon identik (Deshun Shi, 2007).

E. MANFAAT, TANTANGAN DAN KEKHAWATIRAN PRODUK HASIL TERNAK REKAYASA GENETIK DAN KLONING

Pada umumnya semua jenis hewan ternak telah dapat dikloning, dengan tingkat keberhasilan menghasilkan anak relatif masih rendah, yaitu domba 3%, kambing 3%, sapi 7% dan babi 1,3% (Tabel 2). Begitu juga tingkat keberhasilan efisiensi oosit yang dikonstruksi berada pada kisaran 0,3-6% dan efisiensi per transfer embrio menggunakan metode SCNT berkisar antara 3,4-19% (Tabel 3). Keberhasilan kloning dengan metode SCNT ditentukan oleh kemampuan sitoplasma sel telur untuk memprogram

inti sel donor dan kemampuan sitoplasma untuk mencegah terjadinya perubahan secara epigenetik selama perkembangan embrio (Tenriawaru, 2013). Epigenetik adalah penyimpangan (deviasi) fenotipik yang terjadi pada sel yang dipengaruhi oleh ekspresi gen dan modifikasi yang dilakukan pada struktur kromatin, yang dapat mengaktifkan atau menonaktifkan gen, tanpa mengubah genotipe sel (Chantel Gouveia, 2020). Faktor-faktor yang juga mempengaruhi tingkat keberhasilan kloning adalah spesies, tipe sel donor inti, modifikasi genetik, sel telur resipien, perlakuan terhadap sel donor sebelum transfer inti, dan teknik transfer inti yang digunakan (Tenriawaru, 2013)

Tabel 5.2 Tingkat Keberhasilan Kloning Pada Mamalia Menggunakan Metode SCNT

Species	Sel Donor Yang Digunakan	Persentase Keturunan Yang Dihasilkan (%)	Referensi
Domba	Jaringan <i>Mamae</i> betina dewasa	1/29 (3%)	Wilmot <i>et al.</i> 1997
Tikus	Cumulus	31/1315 (2%)	Wakayama <i>et al.</i> 1998
Kambing	Fibroblast dari feotus transgenik	3/112 (3%)	Baguisi <i>et al.</i> 1999
Sapi	Fibroblast Jantan dewasa	2/7 (7%)	Kubota <i>et al.</i> 2000
Babi	Sel Granulosa line	5/401 (1,3%)	Polejacva <i>et al.</i> 2000

Tabel 5.3 Efisiensi Kloning Pada Ternak Domestik

Species	Efisiensi per Oosit yang dikonstruksi (%)	Efisiensi Per Transfer Embrio SCNT (%)
Sapi	1,7	11,5
Kambing	6	6
Kuda	0,8	19
Babi	0,3	5-13
Domba	0,3	3,4 – 5,9

Sumber : (Keefer, 2015)

Sitoplasma oosit bovine memiliki kemampuan yang baik dibandingkan *species* lainnya untuk melakukan *reprogramming* inti sel dari *species* lain yang memungkinkan terjadinya transfer inti sel *interspecies* misalnya antara Bos gaur dan Bos banteng dengan Bos Taurus ataupun *antarspecies* misalnya inti sel dari domba, babi, kera dan tikus ditransfer ke sitoplasma *bovine*. Semakin dekat jarak genetik *species* yang diklon maka tingkat komptabilitas akan semakin tinggi dan tingkat keberhasilannya juga akan semakin tinggi. Berhasilnya metode transfer *nuclear* antar *species* ini memungkinkan dilakukannya preservasi bagi hewan-hewan langka dan hampir punah atau memunculkan kembali hewan-hewan langka yang sudah punah. Namun penerapan metode kloning dalam membiakkan ternak, masih menimbulkan pertanyaan mengenai fungsi dari DNA mitokondria dan modifikasi epigenetik yang tidak diharapkan muncul disebabkan oleh prosedur kloning. Betina klon akan mengalami perubahan permanen dalam pewarisan *mitokondria* karena DNA *mitokondria* tidak diwariskan dari donor inti sel. Sementara itu DNA mitokondria berfungsi dalam mengontrol pembelahan sel dan perkembangan embrio di tahap awal perkembangannya. Walaupun ternak dapat lahir normal, namun hal ini dapat berdampak pada perkembangan abnormal setelah dilahirkan, ternak kloning sensitif terhadap lingkungan sekitar dan lahir prematur.

Aplikasi lain dari perkembangan teknologi rekayasa genetik pada ternak adalah peningkatan produksi hasil ternak yang signifikan bagi pemenuhan kebutuhan masyarakat yang terus meningkat seiring dengan peningkatan jumlah populasi manusia. Sebagai contoh keberhasilan dalam menyisipkan gen yang resisten terhadap mastitis pada sapi perah ke dalam sel telur menggunakan metode *mikroinjeksi* dan sel telur tersebut dibuahi secara *invitro* dan diimplantasikan pada sapi lain sehingga menghasilkan sapi perah yang resisten terhadap mastitis.

Metode lain yang dapat digunakan adalah metode menyisipkan DNA/gen target pada sitoplasma sel tunggal embrio (*zygote*) atau melalui pronuclei pada ovum yang baru saja dibuahi atau sebelum terbentuknya zygote (Muladno, 2002). Sampai saat ini telah diproduksi beberapa jenis hewan transgenik yang mampu menghasilkan susu yang mengandung protein khusus manusia, yang dapat digunakan dalam membantu perawatan penyakit pembengkakan pada paru-paru karena pembuluh

darah, digunakan untuk mempelajari penyakit-penyakit tertentu yang menyerang manusia sehingga diketahui metode perawatan yang tepat, sebagai hewan model untuk pertumbuhan, immunologis, *neurologis*, reproduksi dan kelainan darah. Teknologi kloning juga menghasilkan kambing transgenik yang mampu menghasilkan serat dari susu yang diperah, karena pada DNA kambing tersebut telah disisipi gen dari laba-laba. Juga telah diproduksi hewan-hewan transgenik yang sensitif terhadap racun untuk uji keamanan kimia dari suatu produk.

Manfaat lain dari perkembangan ilmu pengetahuan kloning pada hewan ternak adalah memungkinkan dilakukannya perbaikan gen/DNA bagi manusia yang memiliki riwayat penyakit degeneratif permanen yang sulit untuk disembuhkan. Diawali dengan proyek human genom manusia tahun 1990, dimana genom merupakan rangkaian informasi DNA yang dimiliki oleh suatu individu yang dibutuhkan bagi makhluk hidup untuk tumbuh, berkembang dan mengatur seluruh aktivitas tubuhnya secara normal. Proyek human genom dinyatakan telah berakhir pada tahun 2003, ini artinya informasi lengkap mengenai sekuens DNA manusia yang terdapat di dalam 46 kromosom (22 pasang *kromosom autosom* dan sepasang kromosom sex (XX, XY)), telah diketahui susunan sekuens basa-basa *nukleotidanya*, fungsi dari masing-masing gen dan inisiasi genom struktural sehingga sangat membantu bagi dunia kesehatan (Widyastuti, 2017).

Keabnormalan susunan DNA (atau disebut juga mutasi DNA) yang dimiliki oleh individu akan memunculkan gangguan dalam metabolisme tubuh yang menyebabkan timbulnya berbagai penyakit. Berkembangnya ilmu pengetahuan kloning DNA/gen diawali dengan ditemukannya *enzim ligase* tahun 1967, dimana enzim ini mampu menggabungkan 2 atau lebih fragment DNA dan dilanjutkan dengan penemuan enzim restriksi tahun 1970 yang mampu memotong sekuens DNA pada titik-titik pemotongan tertentu (titik recognisi). Ditemukannya enzim ligase dan enzim restriksi ini memungkinkan dilakukannya pergantian sekuens DNA atau gen yang mengalami mutasi dengan sekuens DNA/gen normal, inaktivasi (*knocking off*) gen yang mengalami mutasi serta pengenalan gen baru untuk mengatasi penyakit tertentu melalui terapi gen.

Untuk menyisipkan DNA/gen diperlukan vector yang biasanya berasal dari mikroorganisme yaitu plasmid dan *bakteriofage* yang disebut sebagai *vector* kloning. *Plasmid* atau *bakteriofage* yang telah disisipi oleh DNA/gen tertentu disebut dengan DNA rekombinan yang selanjutnya DNA rekombinan akan dilipatgandakan jumlahnya. Proses penyisipan gen/DNA tertentu pada *vector* dan proses perbanyak DNA rekombinan ini yang disebut dengan istilah kloning gen/DNA. Selain *vector* kloning juga dikenal *vector* ekspresi yang berfungsi untuk memproduksi protein dari gen yang dikloning. Prosedur *cloning* DNA/gen adalah 1) Isolasi DNA yang akan dikloning dan isolasi DNA vector 2) pemotongan DNA/gen target 3) penggabungan DNA/gen target ke *vector* kloning membentuk DNA rekombinan 4) penggandaan jumlah DNA rekombinan 5) proses pemasukan DNA rekombinan ke dalam sel inang 6) identifikasi sel yang mengandung DNA rekombinan dan 7) Isolasi DNA rekombinan. Beberapa produk kesehatan hasil kloning DNA/gen disajikan pada Tabel 4.

Tabel 5.4 Produk Kesehatan Manusia Hasil Kloning DNA/Gen

Produk Rekayasa Genetik	Manfaat
Hormon adenocorticotropic Alfa dan Gamma interferon	Pengobatan penyakit reumatik
Sel β factor pertumbuhan	Terapi kanker dan infeksi virus
Erythropoietin	Pengobatan kelainan imun
Hormon pertumbuhan manusia	Pengobatan anemia
Lymptoxin	Terapi defisiensi pertumbuhan pada anak-anak
Vaksin Hepatitis B	Anti tumor
Interleukin-2	Mencegah Hepatistis B
Antibodi monoclonal	Pengobatan kanker dan merangsang sistem imun
Nerve growth factor	Terapi kanker dan rejeksi transplantasi
Praurokinase	Memperbaiki syaraf yang rusak
Platelet-derived growth factor	Anti koagulan, terapi serangan jantung
	Mengobati artherosclerosis

Sumber: (Muthiadin, 2014).

Terapi gen dalam mengatasi suatu penyakit dapat dilakukan dengan dua metode yaitu 1) terapi gen *sel embrional (germ line gene therapy)* yaitu menggunakan sperma dan sel telur yang telah dimodifikasi dengan adanya penyisipan gen fungsional yang terintegrasi dengan genomnya sehingga dapat diwariskan ke anaknya 2) terapi gen sel tubuh (*somatic gene therapy*) yaitu melalui transfer gen fungsional ke dalam sel tubuh pasien sehingga malfungsi pada organ dapat diperbaiki. Terapi gen tunggal dapat diaplikasi pada penyakit-penyakit yang disebabkan oleh kelainan-kelainan pada gen tunggal yang bersifat resesif seperti *fibrosis sistik, hemophilia, kelainan muscular, anemia sel sabit, kanker dan AIDS*.

Aplikasi teknologi kloning di bidang peternakan juga dapat diterapkan pada multiplikasi (perbanyak) individu yang memiliki keunggulan genetik tertentu, sehingga kelestarian genetik yang dimiliki individu ternak tersebut dapat bertahan dan lestari. Teknologi kloning juga diharapkan dapat menghasilkan ternak-ternak yang seragam secara genetik sehingga manajemen pemeliharaan yang diterapkan akan memberikan pengaruh yang relatif seragam terhadap pertumbuhan, perkembangan dan produksi dari ternak tersebut. Teknologi rekayasa genetik dan kloning juga memungkinkan dijadikannya hewan ternak sebagai pabrik untuk menghasilkan pabrik organ untuk dicangkokkan pada manusia yang membutuhkannya melalui penyisipan gen-gen tertentu manusia pada hewan ternak baik secara mikro injeksi ataupun secara kloning.

Perkembangan teknologi kloning ini juga memunculkan tidak hanya gene bank namun juga berkembang menjadi *germ cells and embryo bank*. *Germ cells* (Inti sel somatis) dikoleksi dari jaringan tubuh hewan hidup ataupun sesaat setelah hewan tersebut mati. Salah satu negara yang telah memiliki Bank Inti Sel ini adalah Negara Vietnam. Bank inti sel ini telah mengkoleksi 6 populasi ternak lokal yang terdiri dari 3 *breed* babi, 2 *breed* kambing dan 1 *breed* domba, dimana masing-masing *breed* terdiri atas 50 sampel yang terdiri dari 25 sampel betina dan 25 sampel jantan total dikoleksi 300 sampel. Setiap sampel dilengkapi dengan informasi dimana lokasi tempat ditemukannya sampel tersebut dan foto ternak yang dijadikan sampel sebagai sumber informasi tambahan. Bank Inti sel somatis ini memungkinkan untuk tetap lestarinya hewan-hewan langka dan *animal genetic resources* tetap terjaga (FAO, 2012).

Selain manfaat yang telah disebutkan di atas namun kemajuan bioteknologi transfer gen dan kloning ini juga memunculkan beberapa permasalahan yang harus diperhatikan dan dicarikan solusinya yaitu 1) Keamanan pangan dari pangan hasil rekayasa genetik mencakup kualitas nutrisi dari pangan yang dihasilkan, timbulnya resistensi anti biotik, potensi munculnya racun dan alergi setelah mengkonsumsi pangan hasil rekayasa genetik, 2) Terjadinya transfer gen secara tidak sengaja pada tanaman liar atau hewan lokal yang dapat menimbulkan tergerusnya atau hilangnya sumber daya genetik lokal, 3) dikhawatirkan terbentuknya virus dan racun baru, 4) keterbatasan terhadap akses benih karena adanya paten, 5) hilangnya variasi genetik pada populasi hewan ternak atau tanaman, sehingga jika terjadi suatu serangan wabah atau penyakit bisa mengakibatkan musnahnya populasi, 6) permasalahan bioetika yang berhubungan dengan ajaran agama, budaya dan sosial masyarakat serta 7) belum adanya pelabelan pada pangan hasil rekayasa genetik.

F. RANGKUMAN MATERI

Perkembangan ilmu pengetahuan terutama di bidang bioteknologi telah memberikan manfaat yang begitu luar biasa bagi kemaslahatan hidup orang banyak jika dilakukan dengan baik dan sesuai dengan akal sehat. Beberapa manfaat yang dapat diambil dari teknologi kloning bagi bidang peternakan dan kesehatan adalah 1) dapat memultifikasi ternak unggul (*pedigree unggul*) sehingga genotipe ternak tersebut dapat dilestarikan 2) preservasi bagi hewan-hewan langka dan hampir punah serta memungkinkan untuk memunculkan kembali hewan-hewan langka yang sudah punah 3) untuk diagnostik dan terapi gen bagi penyakit-penyakit yang bersifat degeneratif 4) solusi perbaikan DNA/gen individu yang memiliki riwayat penyakit degeneratif permanen yang sulit untuk disembuhkan 5) memungkinkan bagi pasangan suami isteri tetap memperoleh keturunan walaupun membawa penyakit degeneratif yang berbahaya atau pasangan suami isteri yang infertil baik kedua atau salah satunya untuk tetap dapat memperoleh keturunan 6) menghasilkan produk-produk yang dapat dimanfaatkan bagi manusia dan kesehatannya. Namun dibalik besarnya manfaat yang dapat diambil dari perkembangan teknologi kloning harus dicarikan juga solusi terhadap kekhawatiran-

kekhawatiran yang muncul dari perkembangan bioteknologi kloning ini seperti keamanan pangan dari produk hasil ternak hasil kloning ataupun rekayasa genetik bagi kesehatan masyarakat dalam jangka panjang termasuk di dalamnya kualitas nutrisi pangan yang dihasilkan, ada tidaknya cemaran/residu bahan kimia pada produk yang dihasilkan yang dapat menjadi racun bagi tubuh, hilangnya keragaman genetik dari sumber daya genetik ternak lokal sehingga dapat mengganggu pelestarian plasma nutfah hewan ternak yang ada, pencantuman informasi pelabelan produk hasil rekayasa genetik pada kemasan produk yang dihasilkan.

TUGAS DAN EVALUASI

1. Jelaskanlah apakah yang dimaksud dengan kloning?
2. Jelaskan prinsip dasar metode kloning SCNT!
3. Sebutkanlah prosedur dari kloning DNA/gen!
4. Jelaskanlah manfaat dari teknologi kloning dan rekayasa genetik pada ternak ditinjau dari ketersediaan pangan asal ternak dan kesehatan manusia!
5. Jelaskanlah beberapa dampak negatif yang dicurigai muncul pada pangan hasil kloning dan rekayasa genetik ternak ditinjau dari aspek keamanan pangan!

DAFTAR PUSTAKA

- Alexander Baguisi, E. B. (1999). Production of goats by somatic cell. *Nature Biotechnology*, 456-461.
- Alice Pramashinta, L. R. (2014). Bioteknologi Pangan: Sejarah, Manfaat dan Potensi Resiko. *Aplikasi Teknologi Pangan 3(1)*, 1-5.
- Bartlett, Z. (2019). Viable Offspring Derived from Fetal and Adult Mammalian Cells. *The Embryo Project Encyclopedia*, pp. <https://embryo.asu.edu/pages/viable-offspring-derived-fetal-and-adult-mammalian-cells-1997-ian-wilmut-et-al>.
- Cesare Galli, I. L. (2003). A cloned horse born to its dam twin. *Nature* 424, 635.
- Chantel Gouveia, C. H. (2020). Lessons learned from somatic cell nuclear transfer. *International Journal of Molecular Sciences* 21(2314), 1-24.
- Deshun Shi, F. L. (2007). Buffalos (*Bubalus bubalis*) Cloned by Nuclear Transfer of Somatic Cells. *Biology of Reproduction, Volume 77*, 285-291.
- Do VH, T.-R. A. (2014). Somatic Cell Nuclear Transfer in Mammals: Reprogramming Mechanism and. *Clon Transgen 3:3*, 1-5.
- FAO. (2012). *Cryoconservation of animal genetic resources*. Rome: FAO Animal Production and Health Guidelines No.12.
- Hidayati, H. H. (2020). Methods for Detection of Foods, Cosmetics, and Drugs. *19th Annual International Conference on Islamic Studies (AICIS)*, Jakarta: EAI.
- Hoeschele, I. (1990). Potential Gain from Insertion of Major Genes into Dairy Cattle. *J Dairy Sci* 73, 2601-2618.
- Hsun-Han Tang, Y.-C. T.-T. (2012). Embryo splitting can increase the quantity but not the quality of blastocysts. *Taiwanese Journal of Obstetric and Gynecology* 51, 236-239.

- I. Wilmut, A. E. (1997). Viable offspring derived from fetal and adult mammalian cells. *Nature volume 385*, 810-813.
- Karl Illmensee, M. L. (2010). Embryo splitting. *Middle East Fertility Society Journal 15*, 57-63.
- Keefer, C. L. (2015). Artificial cloning of domestic animals. *PNAS 112 (29)*, 8874-8878.
- Montaldo, H. H. (2006). Genetic engineering applications in animal breeding. *Electronic Journal of Biotechnology Vol.9 No.2*, 157-170.
- Muthiadin, C. (2014). *Pengantar Rekayasa Genetika*. Makasar: Allaudin University Press.
- Sunny Wangko, E. K. (2010). Kloning Manfaat Versus Masalah. *Jurnal Biomedik 2 (2)*, 88-94.
- Sutarno. (2016). Rekayasa Genetik dan Perkembangan Bioteknologi di Bidang Peternakan. *Proceeding Biology Education Conference (ISSN: 2528-5742), Vol 13(1)* (pp. 23-27). Surakarta, Jawa Tengah: Seminar Nasional XIII Pendidikan Biologi FKIP UNS 2016.
- Takashi Nagai, K. K. (2007). Handmade somatic Cell Cloning and Related Studies in Farm Animals. *J. Mamm. Ova Res volume 24*, 99-106.
- Tenriawaru, E. P. (2013). Kloning Hewan. *Jurnal Dinamika 4(1)*, 49-61.
- Widyastuti, D. A. (2017). Terapi Gen : Dari Bioteknologi Untuk Kesehatan. *Alkaunyah 10(1)*, 49-62.
- Xi Jun Yin, T. T. (2002). Production of Cloned Pigs from Adult Somatic Cells by Chemically Assisted. *Biology of Reproduction 67* , 442-446.
- Yoko Kato, T. T.-y. (1998). Eight Calves Cloned from Somatic Cells of a Single Adult. *Science: 282, Issue 5396,*, 2095-2098.



REKAYASA GENETIKA TUMBUHAN

Dewi Jumiarni, S.Si., M.Si

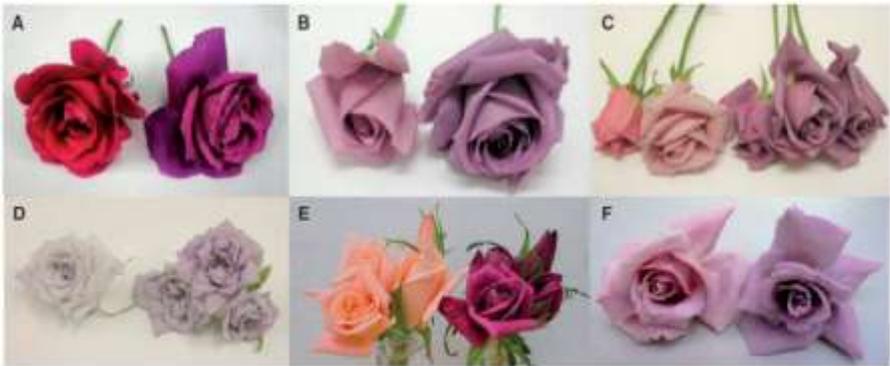
Program Studi Pendidikan Biologi FKIP Universitas Bengkulu

A. PENDAHULUAN

Sejak dahulu manusia telah memanfaatkan dan menyeleksi beraneka ragam tumbuhan sesuai dengan keinginannya. Manusia juga melakukan usaha untuk membuat kombinasi baru dari sifat-sifat tanaman yang diinginkan melalui penyilangan individu-individu yang memiliki sifat unggul. Metode penyilangan ini sering kali tidak memberikan hasil yang memuaskan, karena membutuhkan waktu relatif lama dan sifat yang dibawa individu keturunan hasil penyilangan tidak tetap. Hal ini disebabkan keturunan yang diperoleh dari hasil persilangan ini sering kali mengalami perubahan karakter ke arah yang tidak diinginkan karena dipengaruhi oleh lingkungan.

Seiring dengan perkembangan teknologi, maka dikembangkan teknik pemuliaan tanaman modern. Pemuliaan tanaman secara modern telah digunakan untuk menciptakan varietas baru yang disesuaikan dengan lingkungan atau kebutuhan tertentu, seperti menghasilkan bibit tanaman dalam jumlah banyak dan cepat, tanaman yang lebih mudah dipanen, tahan penyakit, dan lain-lain. Perkembangan ilmu Biologi molekuler dan rekayasa genetika memberikan peluang untuk mengatasi dan memecahkan masalah

pada pemuliaan tanaman. Pemuliaan tanaman secara molekuler dapat mengatasi kendala sulitnya menyeleksi sifat-sifat jenis unggul dalam populasi, karena kerumitan sifat genetik yang berinteraksi dengan faktor lingkungan. Beberapa contoh tanaman hasil rekayasa genetika antara lain jagung resisten hama, padi tahan cekaman kekeringan, tomat dengan umur simpan lebih lama dan bunga dengan warna yang diinginkan (Gambar 1). Pada bab ini akan dibahas mengenai teknologi rekayasa genetika pada tumbuhan.



Gambar 6.1 Bunga mawar transgenik. Perubahan warna bunga melalui produksi dephinidin (Sumber : Gautam & Dubey, 2019).

B. PENGERTIAN REKAYASA GENETIKA

Rekayasa genetika merupakan teknik manipulasi gen untuk menghasilkan organisme yang memiliki sifat yang diinginkan, misalnya tumbuhan yang tahan terhadap hama, tahan terhadap stress lingkungan, buah yang lebih besar, dan lain-lain. Rekayasa genetika dapat dilakukan dengan cara menambah, mengurangi, atau menggabungkan dua materi genetik (DNA) yang berasal dari dua organisme berbeda. Hasil penggabungan dua materi genetik yang berasal dari dua organisme yang berbeda ini disebut DNA Rekombinan. Organisme hasil rekayasa genetika disebut organisme transgenik.

Transgenik berasal dari kata *trans* yang berarti pindah dan gen yang berarti pembawa sifat. Jadi transgenik dapat diartikan sebagai memindahkan gen dari satu makhluk hidup ke makhluk hidup lainnya, baik dari satu tanaman ke tanaman lainnya atau dari gen hewan ke tanaman. Pengertian transgenik secara definisi dapat diartikan sebagai manipulasi gen untuk mengadakan perubahan yang tetap pada sel makhluk hidup.

C. TUJUAN REKAYASA GENETIKA

Rekayasa genetika dilakukan dengan tujuan untuk menghasilkan tanaman unggul yang memiliki sifat seperti yang diharapkan. Beberapa contoh di antaranya yaitu :

1. Menghasilkan tanaman yang resisten terhadap hama serangga, penyakit dan virus

Sifat ketahanan terhadap hama serangga dan virus dapat diisolasi dan di introduksikan dari makhluk hidup lain ke tanaman target. Contohnya penyisipan gen Bt yang berasal dari bakteri *Bacillus thuringiensis* pada tanaman jagung. Bakteri ini menghasilkan protein yang disebut Bt-toksin yang beracun bagi ngengat dan larva kupu-kupu. *Bacillus thuringiensis* strain tertentu dapat menghasilkan protein tambahan yang bersifat toksik bagi lebah, larva lalat dan nyamuk (Madigan et al., 2003).

Sifat resisten terhadap penyakit misalnya pada tomat dengan menyisipkan gen Pto yang menyebabkan tomat resisten terhadap *Pseudomonas syringae*. Tomat ini akan membawa gen terhadap *avrPro*. Over ekspresi gen Pto pada ciri tanaman tomat transgenik yang memberikan aktif respon terhadap proteksi dan penolakan pada beberapa bakteri patogen.

2. Menghasilkan tanaman yang resisten terhadap herbisida

Herbisida mengandung senyawa kimia yang dapat membunuh atau menghambat pertumbuhan tanaman. Herbisida dapat menghambat proses fotosintesis pada tanaman, dan menghambat aktivitas enzim penting pada tanaman. Resistensi tanaman terhadap herbisida bisa diperoleh dengan cara merekayasa tanaman sehingga tidak lagi respon terhadap bahan kimia toksik seperti herbisida. Beberapa herbisida dapat menghambat enzim

kunci atau protein yang berperan penting dalam pertumbuhan tanaman. Contohnya herbisida *glyphosate* dapat menghambat kerja enzim 5-*endopyruvyl shikimate 3-phosphate synthase* (EPSP synthase), merupakan enzim penting bagi biosintesis asam amino aromatik *tyrosine*, *phenylalanine*, dan *tryptophan* (Madigan et al., 2003 ; Makagiansar & Sugiri, 1996).

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* (Makagiansar & Sugiri, 1996).

3. Menghasilkan tanaman yang tahan terhadap cekaman kekeringan

Kekeringan merupakan salah satu faktor abiotik pembatas bagi produktivitas pertanian. Adanya keterbatasan lahan, keterbatasan air dan ancaman pemanasan global mendorong perlunya pengembangan varietas tanaman yang tahan terhadap cekaman kekeringan, baik melalui pemuliaan konvensional maupun modern dengan rekayasa genetika. Pengembangan varietas tanaman yang tahan terhadap cekaman kekeringan menggunakan teknologi rekayasa genetika dilakukan dengan cara menyisipkan gen-gen ketahanan terhadap cekaman kekeringan dari suatu spesies ke spesies lainnya, di antaranya yaitu *arabidopsis*, tembakau, tomat dan padi (Tabel 1) (Sulistyowati, 2009).

Tabel 6.1 Tanaman transgenik tahan terhadap kekeringan

Gen	Spesies Tanaman	Eksresi tanaman transgenik
<i>DREB 1A</i>	Arabidopsis	Peningkatan toleransi terhadap kekeringan dan mampu bertahan 2 minggu tanpa pengairan, serta aktivasi gen <i>rd29A</i> yang berkaitan dengan toleransi terhadap stress.
<i>OsDREB1A</i> <i>CBF 4</i> <i>ABF3 / ABF4</i> <i>CpMYB10</i>		Peningkatan toleransi terhadap kekeringan Peningkatan toleransi terhadap kekeringan Peningkatan toleransi terhadap kekeringan karena penurunan transpirasi Peningkatan toleransi terhadap kekeringan dan daya berkecambah yang lebih tinggi.
<i>AtALDH3</i> Sense- <i>AINCED3</i>		Peningkatan toleransi terhadap kekeringan melalui penurunan peroksidasi lemak Peningkatan toleransi terhadap kekeringan melalui penurunan kapasitas transpirasi.
<i>AVP1</i> <i>ADR1</i>		Peningkatan toleransi terhadap kekeringan melalui reduksi pembukaan stomata. Peningkatan toleransi terhadap kekeringan melalui induksi ekspresi gen yang terkait dengan respon terhadap dehidrasi antara lain <i>ERD11</i> dan <i>GST</i> .
<i>CBF1</i> atau <i>DREB 1B</i> <i>ZPT 2-3</i>	Tomat	Peningkatan toleransi terhadap kekeringan; aktivasi gen katalase dan penurunan akumulasi H ₂ O ₂
<i>P5CS</i>	Padi	Peningkatan toleransi terhadap kekeringan dan menunjukkan perbaikan kemampuan tumbuh.
<i>OtsA</i> dan <i>OtsB</i>		Peningkatan toleransi terhadap kekeringan dengan peningkatan akumulasi biomas.
<i>TPS</i> dan <i>TPP</i>		Peningkatan toleransi terhadap kekeringan melalui pertumbuhan tanaman yang lebih baik dan kerusakan fotooksidatif yang lebih rendah.
<i>OsCDPK</i>		Peningkatan toleransi terhadap kekeringan melalui peningkatan pertumbuhan melalui penguatan respon gen-gen yang berasosiasi dengan stres pada padi antara lain <i>rab16A</i> , <i>saT</i> , dan <i>wsl18</i>
<i>TPS 1</i>	Tembakau	Peningkatan toleransi terhadap kekeringan dengan meningkatkan kapasitas retensi kelembaban.
<i>IMT 1</i>		Peningkatan toleransi terhadap kekeringan melalui penurunan hambatan pada kecepatan fotosintesa, dan <i>stress recovery</i> yang lebih baik.
<i>OtsA</i> dan <i>OtsB</i>		Peningkatan toleransi terhadap kekeringan melalui peningkatan luas daun, tingkat fotosintesa dan kemampuan mempertahankan air sel yang lebih baik.
<i>Ascorbate</i>		Peningkatan toleransi terhadap kekeringan melalui peningkatan kapasitas fotosintesis

(sumber : Bartels and Sunkar (2005) dalam Sulistyowati, 2009)

4. Menghambat pematangan buah

Salah satu masalah utama yang mempengaruhi produksi dan kualitas pada buah-buahan, sayuran dan bunga potong adalah umur simpan yang pendek. Proses pematangan buah yang cepat menyulitkan transportasi buah ke pasar domestik atau pasar internasional sebagai buah segar. Teknologi rekayasa genetika untuk masalah-masalah pascapanen terutama difokuskan pada penggunaan gen-gen yang mengatur pelunakan buah (membran dan dinding sel) dan kecepatan pemasakan (produksi atau persepsi *etilen*) (Botella, 2000). Pendekatan yang digunakan adalah penurunan aktifitas gen dengan *gene silencing*, introduksi transgen untuk mengubah arah metabolisme *etilen* atau mengubah sensitifitas jaringan terhadap *etilen*.

Etilen mengatur pemasakan buah dengan mengkoordinasikan ekspresi gen-gen yang bertanggung jawab dalam berbagai proses, termasuk peningkatan laju respirasi, *autokatalitik* produksi *etilen*, degradasi klorofil, sintesis karotenoid, konversi pati menjadi gula, dan peningkatan aktivitas enzim-enzim pemecah dinding sel (Gray *et al.*, 1992). Selama biosintesis *etilen*, *ATP-metionin-S-adenosiltransferase* mengubah *metionin* menjadi SAM (*S-adenosilmetionin*). *ACC sintase* (*S-adenosil-L-metionin* metiltioadenosine-liase) mengubah SAM menjadi ACC (*1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid*). ACC kemudian dikonversi menjadi *etilen* oleh ACC oksidase. Biosintesis *etilen* dengan demikian dapat diturunkan dengan memblok atau menonaktifkan gen pengkode *metionin-S-adenosiltransferase*, *ACC sintase*, *ACC oksidase*, atau mengintroduksi gen pengkode *SAM hidrolase* atau *ACC deaminase*. Contohnya tanaman transgenik pepaya dengan menggunakan gen *antisens ACC oksidase* untuk menunda pemasakan buah juga telah dilakukan di Malaysia menggunakan pepaya kultivar Eksotika (Abubakar dkk. 2001). Introduksi gen *antisens ACC oksidase* dilakukan dengan penembakan partikel.

D. METODE REKAYASA GENETIKA

Secara umum, transformasi gen pada tumbuhan dapat dilakukan secara langsung dan tidak langsung. Transformasi gen secara tidak langsung dilakukan dengan bantuan bakteri *Agrobacterium*. Metode ini paling banyak digunakan karena lebih ekonomis, efisien dan tingkat keberhasilan tinggi (80-85%). Sedangkan transformasi gen secara langsung dapat menggunakan beberapa metode yaitu penembakan partikel, *mikroinjeksi*, *ultrasonikasi*, *elektroporasi* dan *elektroporotik* (Gautam & Dubey, 2019) (Tabel 2)

Tabel 6.2 Metode Transformasi Gen

No	Metode	Prinsip kerja
1	Transfer gen dengan perantara <i>Agrobacterium</i>	Menggunakan Ti-plasmid mengandung DNA
2	Transfer gen dengan perantara selain <i>Agrobacterium</i>	Menggunakan mikroorganisme mengandung plasmid, misalnya <i>Rhizobiales</i>

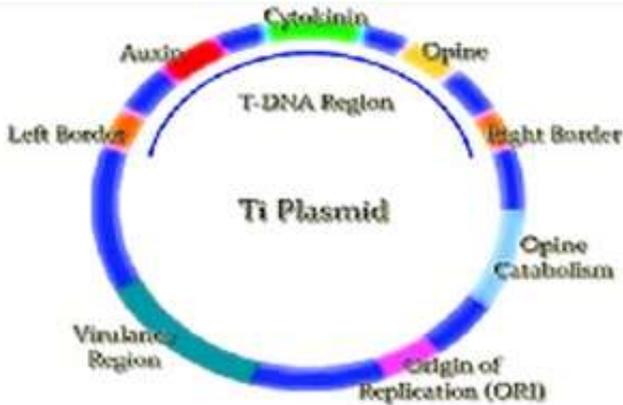
3	Transfer gen menggunakan virus	Integrasi gen ke dalam genom virus
4	Penembakan partikel	Menggunakan partikel mikro berisi DNA yang ditembakkan ke dalam sel target dengan tekanan tinggi
5	Elektroporasi	Menggunakan muatan listrik untuk membuat pori di membran sebagai jalan masuknya DNA
6	Mikroinjeksi	Mikropipet diisi dengan DNA bercampur air ditransfer ke dalam nukleus atau sitoplasma sel target
7	Sonoporasi	Menggunakan gelombang ultrasonik
8	Hidrodinamik	Menggunakan tekanan hidrostatis
9	Induksi DNA menggunakan Polyethylen Glycol (PEG)	PEG melekat di DNA dan membawanya ke dalam sel target

(Kavipriya dkk. 2019)

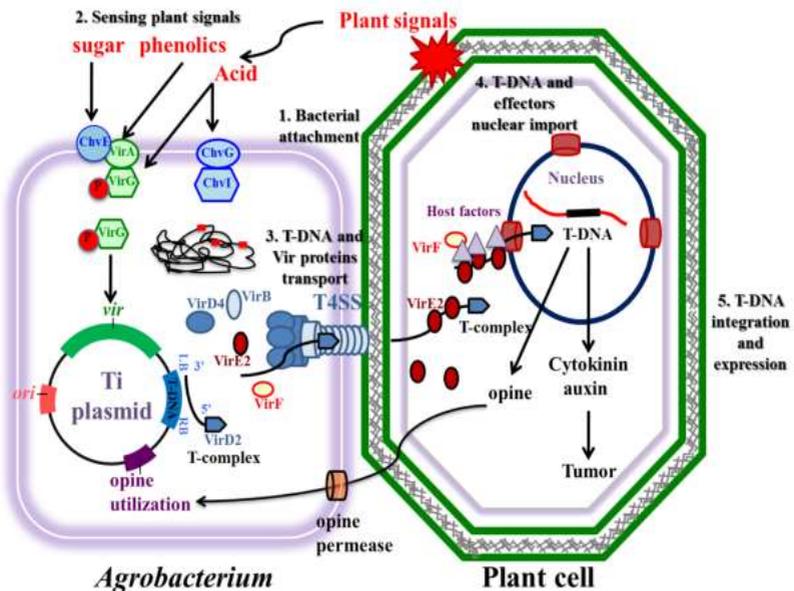
Berikut ini penjelasan mengenai metode yang paling umum digunakan.

1. Transformasi dengan Bantuan Bakteri *Agrobacterium*

Agrobacterium tumefaciens adalah bakteri tanah Gram-negatif yang memiliki kemampuan menginfeksi tanaman dengan mengirimkan segmen tertentu dari genomnya ke inti sel tanaman yang rentan. DNA yang ditransfer (T-DNA) terbatas pada 23 pengulangan pasangan basa pada plasmid penginduksi tumor (Ti). T-DNA penting untuk infeksi karena ia mengkode gen yang, ketika diekspresikan dalam sel tumbuhan, mengganggu pertumbuhan sel tumbuhan dan peristiwa pembelahan. Namun, DNA onkogenik ini dapat dikeluarkan dari DNA yang ditransfer dan diganti dengan gen apa pun yang diinginkan untuk rekayasa yang dimediasi oleh *A. tumefaciens* pada spesies tanaman (Christie, 2009).

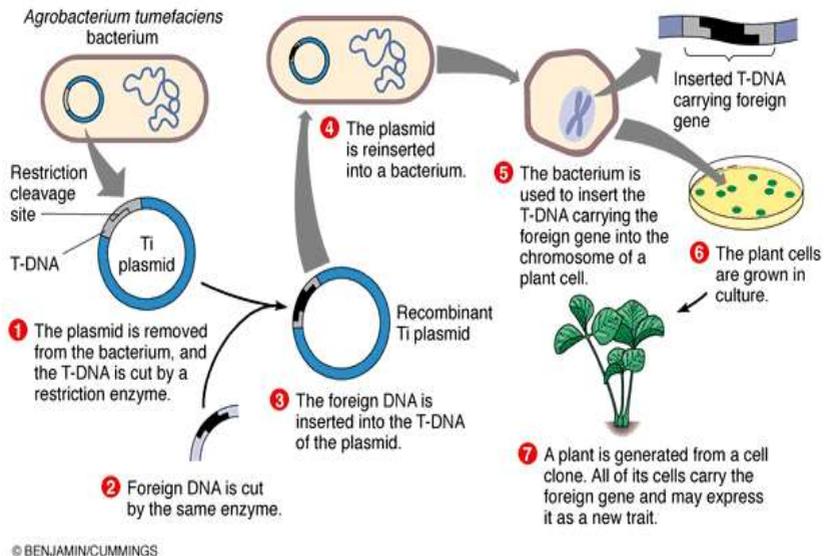


Gambar 6.2 Struktur Ti-plasmid pada *Agrobacterium*
 (Sumber : <https://www.hortiglace.com/2019/12/agrobacterium-mediated-gene-transfer.html>)



Gambar 6.3 Tahapan utama proses transformasi gen pada tumbuhan dengan bantuan *Agrobacterium*

- (1) Perlekatan bakteri di sel tumbuhan, (2) Penangkapan sinyal tumbuhan oleh *A. tumefaciens* dan regulasi gen virulensi di bakteri setelah transduksi sinyal, (3) Generation T-DNA dan transport T-DNA dari sel bakteri ke sel tumbuhan, (4) T-DNA dan protein masuk ke dalam sel tumbuhan, (5) T-DNA terintegrasi dan terekspresi dalam genom tumbuhan
(Sumber : Hwang et al., 2017)



Gambar 6.4 Mekanisme transformasi gen dengan *Agrobacterium*

2. Penembakan Mikroprojektil /Penembakan Partikel (Biolistik)

Metode penembakan partikel menggunakan suatu peralatan biolistik (particle gun) untuk menembak DNA target ke dalam sel utuh. DNA dibawa ke dalam sel tumbuhan melalui partikel kecil pembawa yang terbuat dari emas atau tungsten dengan ukuran diameter 0,5 – 5 mikron dan berat 25 mg. Partikel ini membungkus gen yang diinginkan lalu ditembakkan ke dalam sel-sel tanaman atau jaringan, biasanya menggunakan gas helium bertekanan 900 psi. Beberapa partikel masuk ke dalam inti sel, lalu materi genetik yang diintroduksi bergabung dengan DNA inti (Sanford, 1990 ; Kavipriya et al., 2019) (Gambar 4).



Gambar 6.5 Mekanisme transformasi DNA metode penembakan partikel (Kavipriya et al. 2019)

Tidak seperti metode transformasi DNA secara tidak langsung yang host spesifik, metode ini telah berhasil digunakan pada banyak jenis tanaman, antara lain tembakau, kedelai, padi, jagung, gandum, kapas dan mangga (Karipriya et al., 2019). Metode ini juga efektif dalam mentransformasi DNA di bagian sel tertentu seperti kloroplas (Barampuram & Zhang, 2011 ; Anami et al., 2013).

Transformasi biolistik sering menghasilkan banyak sisipan DNA di lokasi berbeda dalam genom tumbuhan (Rivera et al., 2012). Terlalu banyak sisipan DNA yang sama dalam genom secara normal akan mengakibatkan gene silencing. Selain itu sequens DNA yang diintroduksi telah dipotong, menyebabkan analisis transgen menjadi sulit dan tidak seperti yang diharapkan. Hanya fragmen DNA berukuran kurang dari 10 kb yang bisa ditransfer melalui teknologi biolistik karena fragmen yang besar akan rusak selama penembakan atau melekat tidak erat pada partikel logam, yang mengakibatkan terjadinya integrasi DNA yang tidak beraturan (Shou et al., 2004 dalam Anami et al. 2013).

Metode penembakan partikel memiliki kelebihan dan kekurangan. Kelebihan dari metode ini adalah :

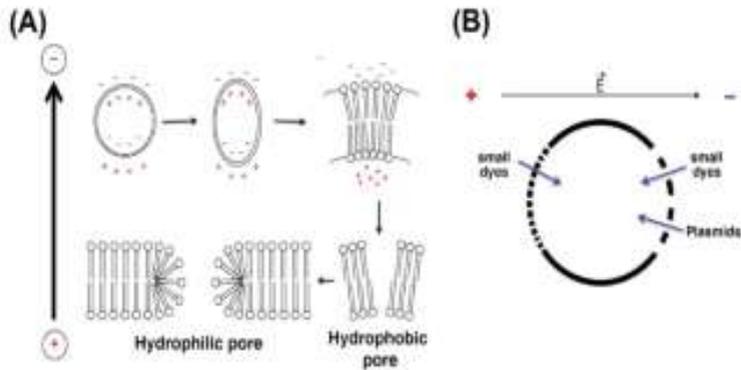
- a. Dapat digunakan untuk transformasi gen dari banyak tipe jaringan dan sel
- b. Tidak dibutuhkan vektor biner
- c. Memungkinkan untuk menghantarkan banyak plasmid dengan frekuensi tinggi dari *cotransformation*.
- d. Prosedur transformasi sederhana
- e. Dapat menghantarkan fragmen DNA berukuran besar
- f. Sistem dapat diadaptasikan untuk menghantarkan mRNA atau protein

Kekurangan dari metode ini adalah :

- a. Pola integrasi terjadi secara acak
- b. Membutuhkan biaya yang mahal
- c. Sel target tidak bisa dikontrol, misalnya apakah sitoplasma, nukleus, mitokondria atau plastida.

3. Elektroporasi

Metode elektroporasi membutuhkan dua bahan utama, yaitu asam nukleat beserta suspensi sel dan kejutan listrik. Protoplas yang mengandung asam nukleat diberikan kejutan listrik dalam waktu singkat menyebabkan permeabilitas tinggi yang sementara pada membran sel dengan membentuk pori-pori. DNA sejajar dengan kutub anoda dan masuk ke dalam sel melalui pori membentuk transgen untuk menghasilkan tanaman transgenik (Gambar). Setelah perlakuan listrik, sel akan kembali seperti semula. Metode ini telah berhasil diaplikasikan pada padi, gandum, jagung, tembakau dan lain-lain.



Gambar 6.6 Pembentukan pori di membran sel pada proses *elektroporasi*. (A) Ketika diberikan kejutan listrik, muatan molekul di membran sel berbaris dan membentuk dipole yang menimbulkan terbentuknya *pori hidrofilik* dan *hidrofobik*. (B) Sejumlah besar pori dibentuk di kedua kutub, tapi masuknya DNA hanya di kutub anoda (Sumber : Kavipriya et al., 2019).

E. KONTROVERSI DALAM REKAYASA GENETIKA TUMBUHAN

Pemanfaatan produk tanaman transgenik telah memberikan manfaat yang luas bagi kehidupan. Namun pemanfaatannya masih menimbulkan kekhawatiran dan kontroversi, terutama ditinjau dari aspek lingkungan, kesehatan, sosial budaya dan etika.

1. Kontroversi dari Aspek Lingkungan

Insekta, gulma, dan patogen memiliki kemampuan berevolusi yang menyebabkan dirinya resisten terhadap segala upaya untuk menghambat populasinya. Oleh karena itu pemanfaatan tanaman transgenik dikhawatirkan akan memunculkan resiko resistensi hama. Misalnya penanaman Bt transgenik yang memiliki dosis toksin tinggi akan menyebabkan beberapa insekta yang mampu beradaptasi akan tetap hidup. Jika mereka kawin satu dengan yang lain, maka keturunannya akan menjadi resisten terhadap toksin Bt, yang menyebabkan populasi hama tidak lagi dapat dikendalikan oleh tanaman Bt-transgenik. Serbuk sari dari tanaman resisten hama dapat tersebar ke tumbuhan sekitar yang kemudian dikonsumsi oleh insekta non-target pemakan daun. Losey dkk (1999)

melaporkan bahwa dosis tinggi serbuk sari jagung Bt yang disebarkan di atas daun milkweed membunuh larva kupu-kupu monarch.

Di samping itu tidak selamanya pemindahan gen dapat dilakukan dengan merekayasa gen-gen tertentu pada makhluk hidup tertentu melalui teknik DNA rekombinan untuk memproduksi berbagai zat yang diinginkan. Materi genetik baru mungkin tidak berhasil dipindahkan ke sel target, atau mungkin dipindahkan ke sebuah tempat yang salah pada rantai DNA dari makhluk hidup sasaran, atau gen baru mungkin secara tidak sengaja mengaktifkan gen dekatnya yang biasanya tidak aktif, atau mungkin mengubah atau menekan fungsi gen yang berbeda. Fenomena ini dapat menyebabkan mutasi tak terduga sehingga membuat tanaman yang dihasilkan beracun, subur, atau tidak sesuai dengan yang diinginkan. Selain itu, tanaman rekayasa genetika berpotensi merusak keseimbangan lingkungan di sekitarnya. Hama dan penyakit tanaman akan lari ke ladang-ladang konvensional sehingga mau tidak mau petani tersebut harus beralih menjadi pengguna tanaman transgenik yang harganya relatif mahal. Pemerhati lingkungan khawatir bahwa tanaman transgenik akan menimbulkan risiko lingkungan ketika tanaman tersebut secara luas dibudidayakan (Mahrus, 2014)

2. Kontroversi dari Aspek Kesehatan

Kekhawatiran pengaruh produk tanaman transgenik terhadap kesehatan terutama karena kemungkinan pada produksi alergen baru, peningkatan toksisitas, pengurangan nutrisi dan resistensi antibiotik (Bernstein dkk., 2003). Dalam tanaman transgenik memungkinkan membawa gen resistensi antibiotik yang dapat ditransfer ke mikroorganisme penyebab penyakit di pencernaan manusia atau hewan yang mengkonsumsi produk tersebut. Hal ini dapat mengakibatkan mikroba menjadi resisten terhadap antibiotik. Selain itu memasukkan gen asing ke dalam tanaman dapat menyebabkan tanaman tersebut memproduksi toksin pada konsentrasi lebih tinggi sehingga membahayakan manusia.

3. Kontroversi dari Aspek Sosial Budaya dan Etika

Kelompok tertentu dalam masyarakat, misalnya muslim memiliki persyaratan “halal dan baik” dalam makanan yang dikonsumsi. Penggunaan makanan transgenik masih menimbulkan kontroversi berkenaan dengan status kehalalan produk tersebut karena ketidakjelasan asal usul gen yang diintroduksi ke dalam tanaman.

F. RANGKUMAN MATERI

Rekayasa genetika merupakan teknik manipulasi gen untuk menghasilkan organisme yang memiliki sifat yang diinginkan, misalnya menghasilkan tanaman yang resisten terhadap hama, serangga, penyakit dan virus; tanaman yang resisten terhadap herbisida; tanaman yang memiliki masa simpan lebih lama, tanaman yang tahan terhadap cekaman kekeringan, dan lain-lain. Rekayasa genetika dilakukan dengan cara menambah, mengurangi, atau menggabungkan dua materi genetik (DNA) yang berasal dari dua organisme berbeda. Beberapa metode transformasi gen dalam rekayasa genetika yaitu dengan bantuan bakteri *Agrobacterium*, penembakan partikel, mikroinjeksi, elektroporasi, sonoporasi dan hidrodinamik. Pemanfaatan tanaman transgenik telah memberikan banyak manfaat bagi kehidupan manusia, walaupun masih menimbulkan kontroversi dalam beberapa aspek.

TUGAS DAN EVALUASI

1. Jelaskan kelebihan dari teknologi rekayasa genetika dibandingkan pemuliaan tanaman secara konvensional!
2. Jelaskan bagaimana teknologi rekayasa genetika dapat menghambat masa pematangan buah dan bunga!
3. Transformasi DNA dengan bantuan *Agrobacterium* tidak dapat diterapkan pada semua spesies tumbuhan. Jelaskan mengapa demikian?
4. Sel-sel tumbuhan hasil dari transformasi menggunakan metode biolistik perlu diseleksi lebih lanjut untuk mendapatkan hasil yang diinginkan. Mengapa demikian?
5. Beberapa tanaman pangan hasil rekayasa genetika sudah tersedia di pasar, di antaranya adalah Bt Corn, yaitu jagung yang dirancang

mengandung protein insektisida yang berasal dari bakteri *Bacillus thuringiensis* (*Bt*). Analisislah kemungkinan dampak negatif yang dapat ditimbulkan ditinjau dari aspek ekologi!

DAFTAR PUSTAKA

- Anami, S., Njuguna, E., Coussens, G., Aesaert, S., Lijsebettens, M.V. (2013). Higher plant transformation: principles and molecular tools. *International Journal of Developmental Biology*, 57, 483-494.
- Gautam, B., Dubey, R.K. (2019). Biotechnological Approaches For Improvement Of Flower Crops. *International Journal of Chemical Studies* 7(2): 1541-1546
- S.G. (2003). Improving plant genetic engineering by manipulating the host. *TRENDS in Biotechnology* 21 (3) : 95 – 98.
- Kavipriya, C., Yuvaraja, A., Senthil, K., Menaka, C. (2019). Genetic Transformation Methods for Crop Improvement: A Brief Review. *Agricultural Reviews*. 40(4): 281-288.
- Madigan, M.T., Martiko, J.M., Parker, J. (2003). *Biology of Microorganisms*. Pearson education, Inc.USA.
- Sulistyowati, E. 2009. Pemanfaatan Teknologi Transgenik Untuk Perakitan Varietas Unggul Kapas Tahan Kekeringan . *Perspektif* Vol. 8 No. 2 / Desember 2009. Hlm 96 – 107
- Rivera, A.L., Gomez-Lim, M., Fernandez, F., and Loske, A.M. (2012). Physical methods for genetic plant transformation. *Physics of Life Reviews* 9, 308-345.
- Sanford, J.C. (1990). Biolistic plant transformation. *Physiologia Plantarum* 79, 206-209.



BIOTEKNOLOGI DI BIDANG MAKANAN DAN MINUMAN

Anggita Rahmi Hafsari, M.Si
UIN Sunan Gunung Djati

A. PENDAHULUAN

Kita sedang berada di tengah revolusi industri lain di mana bioteknologi bergantung pada mikroba dan memainkan peran utama dalam produksi obat-obatan, bahan kimia industri, bahan bakar, dan bahkan makanan. Meskipun bioteknologi melibatkan potensi penggunaan semua bentuk kehidupan, mikroorganisme peran utama dalam pengembangan disiplin ilmu ini karena pertumbuhan massal, pesat yang terjadi pada media yang terdiri dari bahan limbah murah, keanekaragaman yang massif, serta jenis *metabolism* yang bervariasi. Karakteristik ini memungkinkan beragam pilihan produk potensial serta dapat menjadi jalan manipulasi genetik untuk meningkatkan strain produk baru.

Bio dalam “bioteknologi” berarti kehidupan dan mengacu pada mikroba dan sel hidup lainnya termasuk sel hewan dan tumbuhan. Teknologi tersebut terdiri dari pertumbuhan sel hidup dalam tong (*fermentor* atau *bioreaktor*) yang mengandung nutrisi dan oksigen (jika diperlukan) pada kondisi tertentu, dan pemrosesan bahan biologis yang diproduksi oleh sel melalui integrasi proses dan optimalisasi pada efisiensi

tertinggi untuk menghasilkan produk yang dapat meningkatkan kualitas hidup manusia. Bioteknologi muncul melalui interaksi antara berbagai bagian biologi dan menggunakan yang berasal dari tiga disiplin ilmu yang terkenal: biokimia, mikrobiologi, dan teknik biokimia (Bhatia, 2017).

B. BIOTEKNOLOGI KONVENSIOANL PADA MAKANAN DAN MINUMAN

Industri makanan dan minuman fermentasi sebagai langkah penting dalam inovasi produk. Fermentasi dapat memberikan berbagai manfaat seperti rasa yang unik, kesehatan dan nutrisi, tekstur dan keamanan (umur simpan), dengan tetap mempertahankan label natural 100%. Dalam bab ini disajikan beberapa contoh tentang fermentasi yang digunakan untuk menggantikan, memodifikasi atau meningkatkan makanan dan minuman yang diproduksi secara artifisial digunakan untuk produk konsumen yang benar-benar baru.

Makanan fermentasi adalah makanan dan minuman yang telah mengalami pertumbuhan mikroba terkontrol dan fermentasi. Fermentasi adalah proses anaerobik di mana mikroorganisme seperti ragi dan bakteri memecah komponen makanan (misalnya gula seperti glukosa) menjadi produk lain (misalnya asam organik, gas atau alkohol). Hal ini membuat makanan fermentasi memiliki rasa, aroma, tekstur, dan penampilan yang unik dan diinginkan. Ada ribuan jenis makanan fermentasi, termasuk: susu dan yoghurt berbudaya, anggur, Bir, Cuka Apel tempe, Sup Kedelai Jepang, Kimchi, kol parut, sosis fermentasi.

1. Bir

Bir dibuat melalui proses fermentasi, di mana khamir mengubah glukosa dalam *wort* menjadi etil alkohol dan gas karbon dioksida (CO₂) untuk menghasilkan kandungan alkohol dan karbonasi pada bir. Proses fermentasi dimulai ketika *wort* yang didinginkan dipindahkan ke bejana fermentasi dan ditambahkan ragi. *Wort* adalah cairan yang diekstrak dari proses tumbuk selama pembuatan bir atau wiski. *Wort* mengandung gula, yang paling penting adalah *maltose* dan *maltotriosa*. *Strain* ragi yang berbeda digunakan untuk membuat tempat pembuatan bir di tingkat komersial. Selama fermentasi, ragi menghasilkan berbagai macam senyawa penyedap rasa, termasuk ester, fenol, dan berbagai macam bahan kimia

lainnya. Senyawa ini secara dramatis akan mengubah karakter bir terakhir. Membandingkan *Hefeweizen* Jerman tradisional dengan *American Blonde Ale*, rasa utama masing-masing secara langsung berbeda terkait dengan strain ragi tertentu yang dipilih. Khamir adalah jamur, dan ada jutaan jenis yang berbeda. Khamir terpenting dalam pembuatan bir adalah *Saccharomyces cerevisiae* dan *Saccharomyces pastorianus*. Kedua strain tersebut terutama dibedakan berdasarkan profil rasa umumnya dan suhu fermentasi yang ideal, suhu fermentasi lebih hangat dan lager lebih bersih dan lebih dingin difermentasi), dan memberikan dua divisi utama dalam gaya bir: bir putih dan lager.

2. Fase Fermentasi

Fermentasi terjadi dalam tiga tahap. Pertama, ragi dimasukkan ke dalam wort. Di sini, ragi menyerap oksigen terlarut, dan menggunakan berbagai mineral yang ada di dalam wort untuk membangun dinding sel. Ragi kemudian mulai membelah, meningkatkan jumlah sel sesuai dengan kondisi mereka. Ini adalah fase di mana sebagian besar senyawa rasa dibuat, dan akan berlangsung selama 6 jam hingga dua hari. Jangka waktu penundaan ini disebut sebagai waktu jeda.

Tahap kedua adalah fermentasi aktif, di mana ragi secara aktif mencerna gula, menghasilkan alkohol dan karbon dioksida. Ini adalah tahap kritis di mana suhu akan memainkan peran besar. Jaga suhu dalam kisaran yang oleh ragi, jika tidak bir dapat menjadi tidak enak (jika fermentasi menjadi terlalu panas) atau berhenti (jika fermentasi menjadi terlalu dingin). Tahap ini krausen dan airlock akan menggelembung secara konsisten. Krausen adalah sebutan untuk lapisan berbusa tebal yang menumpuk. Ini terdiri dari protein, produk sampingan, dan sel ragi yang didorong oleh karbon dioksida yang dihasilkan. Tahap ini biasanya berlangsung 5-10 hari.

Fase ketiga dan terakhir adalah pengkondisian. Ragi akan melambat secara drastis dan mengunyah gula akhir. Tampaknya, krausen akan mulai jatuh dan tenggelam kembali ke dalam bir, dan lapisan trub akan terbentuk di bagian bawah. Setelah itu, ragi akan membersihkan produk sampingan keras yang dihasilkan selama dua tahap pertama. Tahap ini penting, karena akan membantu bir terasa "lebih bersih", dengan rasa yang lebih sedikit, dan umumnya membantu bir terasa lebih enak. Tahap ini biasanya akan

berlangsung 4-7 hari, meskipun ini sangat bergantung pada persentase alkohol. Untuk alasan ini, praktik terbaik adalah menyimpan bir di fermentor utama setidaknya selama 2-3 minggu sebelum dibotolkan.

3. Yoghurt

Yogurt merupakan produk susu fermentasi yang mengandung kultur bakteri khas *Lactobacillus bulgaricus* dan *Streptococcus thermophilus*. Semua *yogurt* harus mengandung setidaknya 8,25% padatan bukan lemak. *Yoghurt full fat* harus mengandung lemak susu tidak kurang dari 3,25%, *yogurt* rendah lemak tidak lebih dari 2% lemak susu, dan *yogurt* tanpa lemak kurang dari 0,5% susu. Dua jenis *yogurt* yang biasa ditemukan di toko adalah *yogurt* tipe set dan *yogurt* tipe swiss. *Set type yogurt* adalah ketika *yogurt* di kemas dengan buah di bagian bawah cangkir dan *yogurt* di atasnya. *Yoghurt* gaya Swiss adalah saat buah dicampur ke dalam *yogurt* sebelum dikemas.

Bahan utama *yogurt* adalah susu. Jenis susu yang digunakan tergantung pada jenis *yogurt* - susu murni untuk *yogurt full fat*, susu rendah lemak untuk *yogurt* rendah lemak, dan susu skim untuk *yogurt* tanpa lemak. Bahan susu lainnya diperbolehkan dalam *yogurt* untuk mengatur komposisinya, seperti krim untuk mengatur kadar lemak, dan susu kering tanpa lemak untuk mengatur kadar padatan. Kandungan padatan *yogurt* sering kali disesuaikan di atas nilai minimum 8,25% untuk memberikan tekstur yang lebih baik pada *yogurt*. CFR berisi daftar bahan susu yang diizinkan untuk *yogurt*. Stabilizer dapat digunakan dalam *yogurt* untuk memperbaiki tekstur dengan meningkatkan kekencangan, mencegah pemisahan *whey (sineresis)*, dan membantu agar buah tercampur secara seragam dalam *yogurt*. Stabilizer yang digunakan dalam *yogurt* adalah *alginat (karagenan)*, gelatin, *gum* (kacang belalang, guar), pektin, dan pati. Pemanis, perasa dan olahan buah digunakan dalam *yogurt* untuk memberikan variasi kepada konsumen. Daftar pemanis yang diizinkan untuk *yogurt* ditemukan di CFR.

C. BIOTEKNOLOGI MODERN DALAM BIOTEKNOLOGI PANGAN

Di Benua Eropa, beragam makanan berkualitas tinggi mengandung karbohidrat, lemak, protein, mineral, dan vitamin yang dibutuhkan dalam makanan sehari-hari konsumen. Inti dari produksi pangan adalah bioteknologi. Salah satu aspek bioteknologi yang telah digunakan selama berabad-abad adalah pembiakan selektif tanaman dan hewan ternak untuk menghasilkan pangan yang lebih baik. Selain itu, fermentasi, digunakan selama ribuan tahun untuk menghasilkan makanan fermentasi seperti keju, roti, bir, asinan kubis, dan sosis. Penggunaan pertama teknologi gen dua dekade lalu membuka potensi banyak kemajuan tambahan baik dalam pemuliaan selektif maupun fermentasi. Setiap langkah maju yang spesifik mungkin relatif kecil, tetapi bersama-sama mereka dapat menambah peningkatan lebih lanjut dalam kualitas nutrisi, penampilan, rasa, kenyamanan, harga, dan keamanan makanan.

D. GMO

GMO (*Genetically Modified Organism*) atau organisme hasil rekayasa genetika adalah organisme yang materi genetiknya telah diubah menggunakan rekayasa genetika. Rekayasa genetika adalah modifikasi fenotipe organisme dengan mengubah susunan genetiknya. Rekayasa genetika terutama dilakukan dengan perkawinan sederhana atau rekombinasi gen. Bagian terakhir dalam modul ini menjelaskan lebih jauh tentang bagaimana tanaman yang dimodifikasi secara genetik diciptakan. Transgenik berkisar dari mikro-organisme seperti ragi dan bakteri hingga serangga, tumbuhan, ikan, dan mamalia. Tanaman hasil rekayasa genetika (GMO) adalah tanaman yang direkayasa untuk memasukkan sifat baru ke dalam spesies. Tujuan tanaman GMO umumnya mencakup ketahanan terhadap hama, penyakit, atau kondisi lingkungan tertentu, atau ketahanan terhadap perlakuan kimiawi (misalnya ketahanan terhadap herbisida). Tujuan lain dari modifikasi genetik tanaman adalah untuk meningkatkan nilai gizinya, seperti yang terlihat pada kasus beras emas.

Penggunaan tanaman GMO diperdebatkan secara luas. Saat ini tidak ada bahaya yang diketahui dalam mengonsumsi makanan hasil rekayasa genetika. Makanan GMO dikembangkan - dan dipasarkan - karena ada beberapa keuntungan yang dirasakan baik bagi produsen atau konsumen

makanan ini. Ini dimaksudkan untuk diterjemahkan menjadi produk dengan harga yang lebih rendah, manfaat yang lebih besar (dalam hal daya tahan atau nilai gizi) atau keduanya.

Makanan GM yang saat ini tersedia di pasar internasional telah lulus penilaian risiko dan kemungkinan besar tidak menimbulkan risiko bagi kesehatan manusia. Selain itu, tidak ada efek yang ditunjukkan pada kesehatan manusia sebagai akibat dari konsumsi makanan semacam itu oleh populasi umum di negara-negara di mana makanan tersebut disetujui.

Tanaman	Sifat	Gen	Developer
Padi	Efisiensi penggunaan nitrogen	<i>CsNitri1-L</i>	ICABIOGRAD
Padi	Toleransi kekeringan	<i>OsER1</i>	ICABIOGRAD
Padi	Produktivitas	<i>OsGS3; dep1</i>	ICABIOGRAD
Padi	Toleransi salinitas	<i>OsErf1; OsDREB1A</i>	ICABIOGRAD
Tebu	Kadar glukosa yang tinggi	<i>SoSUT & SoSPSSoSPS1</i>	PTPN-XI/Universitas Jember
Tomat	Resisten terhadap virus (tomato yellow leaf curl virus dan cucumber mosaic virus)	<i>Coat protein</i>	ICABIOGRAD/RIV
Tomat	Partenokarpi	<i>defH9-iaaM and defH9-RI-iaaM</i>	ICABIOGRAD
Singkong	Kadar amylose yang rendah	<i>IRC-GBSS</i>	ICABIOGRAD/IIS
Pepaya	Menghambat pematangan	<i>Antisense ACC Oxidase</i>	ICABIOGRAD

Kentang	Resisten terhadap Pytophthora	<i>RB</i>	ICABIOGRAD
Padi varietas Rojolele	Resisten terhadap yellow stem borer	<i>Cry1Ab & cry18- cry1Aa</i>	LIPI
Padi	Toleransi terhadap kekeringan	<i>oshox6</i>	LIPI
Tebu	Ketersediaan unsur fosfat	<i>Phytase</i>	IPB
Padi	Toleransi terhadap aluminium	<i>MaMt2, MmSOD,</i>	IPB
Tebu	Toleransi terhadap kekeringan	<i>P5CS</i>	LIPI

(Prianto & Yudhasasmita, 2017)

1. Bagaimana Produk GMO dihasilkan

Teknik rekayasa genetik adalah modifikasi fenotipe organisme dengan memanipulasi materi genetiknya. Beberapa rekayasa genetika menggunakan prinsip rekombinasi.

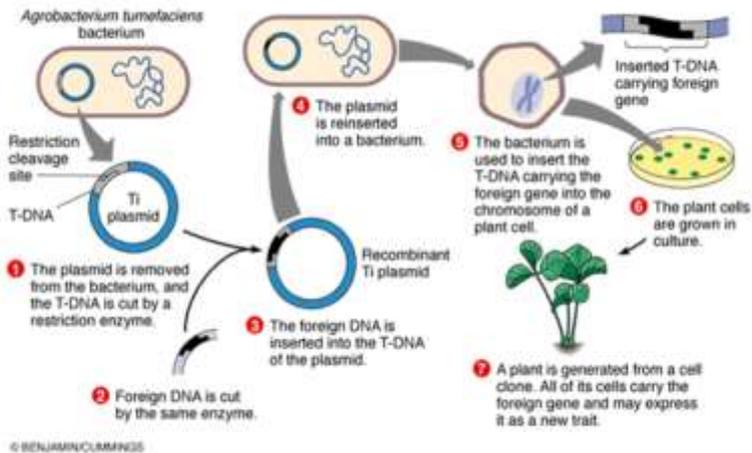
Rekombinasi adalah proses di mana gen baru dimasukkan ke dalam DNA bakteri "The plasmid". DNA perlu dipotong dengan enzim yang disebut enzim restriksi. Enzim restriksi yang digunakan harus memiliki bentuk tertentu yang memungkinkannya bergerak di sepanjang DNA yang akan dipotong. Enzim restriksi mencari titik spesifik dalam sekuens DNA untuk memotong DNA. Ketika enzim restriksi memotong, ia meninggalkan "ujung lengket" yang membantu gen baru menempel pada titik itu. Enzim lain digunakan untuk menempelkan segmen DNA baru; ini disebut "DNA ligase". Bakteri hasil rekayasa genetika dibudidayakan dan banyak salinan baru dari bakteri dengan gen baru ditanam. Modifikasi genetik dapat dilakukan pada tumbuhan dan hewan.

Agrobacterium adalah bakteri yang menggunakan transfer gen Horizontal (HGT). HGT adalah transfer DNA antara genom yang berbeda [Pop up: Genom adalah set lengkap materi genetik yang ada dalam suatu organisme]. HGT dapat terjadi pada bakteri melalui transformasi, konjugasi, dan transduksi. Namun, HGT juga mungkin terjadi antara eukariota dan bakteri meskipun mekanisme transfer ini tidak dipahami dengan baik.

Bakteri memiliki tiga cara untuk mentransfer bakteri antar sel:

- 1) Transformasi: Pengambilan dan penggabungan DNA eksternal ke dalam sel sehingga mengakibatkan perubahan genom
- 2) Konjugasi: Pertukaran materi genetik melalui kontak sel-ke-sel dari dua sel bakteri. Untai DNA plasmid ditransfer ke sel penerima dan sel donor kemudian mensintesis DNA untuk menggantikan untai yang dipindahkan ke sel penerima.
- 3) Transduksi: Segmen DNA bakteri dibawa dari satu sel bakteri ke sel lain oleh bakteriofag. Bakteriofag menginfeksi sel bakteri dan mengambil DNA bakteri. Ketika fag ini menginfeksi sel lain, ia mentransfer DNA bakteri ke sel baru. Bakteri kemudian dapat menjadi bagian dari sel inang baru.

Agrobacterium juga memiliki kemampuan untuk mentransfer DNA antara dirinya dan tumbuhan dan oleh karena itu umumnya digunakan dalam rekayasa genetika. Proses penggunaan *Agrobacterium* untuk rekayasa genetika diilustrasikan pada diagram di bawah ini.



2. Ringkasan proses yang diilustrasikan dalam diagram (di atas):

Sel *agrobakterium* mengandung kromosom bakteri dan tumor yang menginduksi plasmid- "Ti Plasmid". Plasmid Ti dikeluarkan dari sel *agrobakterium* dan enzim restriksi membelah situs restriksi T-DNA. DNA asing berikutnya, yang juga dibelah oleh enzim yang sama, dimasukkan ke dalam T DNA di tempat yang tadi dibelah. Plasmid yang dimodifikasi kemudian dimasukkan kembali ke dalam *agrobakterium* dan bakteri memasukkan TDNA, yang sekarang membawa gen asing ke dalam sel tumbuhan. Sel tumbuhan tersebut kemudian di kultur dan menghasilkan tumbuhan baru yang memiliki DNA trai asing.

E. MANFAAT BIOTEKNOLOGI

1. Perlindungan lingkungan. Ilmuwan telah membuat beberapa makanan, seperti pepaya dan kentang, lebih tahan terhadap penyakit. Tanaman ini membutuhkan lebih sedikit semprotan kimiawi untuk melindunginya dari serangga atau virus berbahaya, yang lebih baik untuk air dan satwa liar. Tanaman lain dilindungi dari herbisida yang digunakan untuk mengendalikan gulma, sehingga memungkinkan petani untuk melestarikan tanah dengan lebih jarang mengolah tanah.

2. Hasil Panen Lebih Besar. Petani dapat menggunakan bioteknologi untuk membantu tanaman bertahan hidup, menangkal serangga, dan toleransi yang lebih baik terhadap herbisida. Ini memungkinkan panen yang lebih baik dari tanaman yang lebih keras ini.
3. Rasa Lebih Baik, Makanan Lebih Segar. Paprika manis dan tomat yang matang lebih lambat adalah contoh bagaimana bioteknologi dapat menghasilkan makanan yang lebih segar dan rasanya lebih enak.
4. Menumbuhkan lebih banyak makanan di lahan yang lebih sedikit. Pada tahun 2050, populasi bumi diperkirakan mencapai sembilan miliar orang. Dengan menggunakan bioteknologi, petani dapat menghasilkan lebih banyak tanaman di lahan yang sudah mereka miliki. Dengan cara ini, negara tidak perlu mencurahkan lebih banyak lahan untuk bertani. Pada gilirannya, negara berkembang dapat memperoleh manfaat paling besar, karena mereka akan memiliki pertumbuhan populasi terbesar.
5. Amankan makanan untuk dimakan. Ilmuwan dapat lebih akurat menemukan virus dan bakteri yang tidak diinginkan yang mungkin ada dalam makanan. Ini akan menyebabkan risiko penyakit yang ditularkan melalui makanan bahkan lebih rendah. Beberapa jenis jamur, yang bisa ditemukan di jagung, lepas Direvisi 05/08 zat yang dapat membahayakan hewan yang memakannya. Zat ini sudah diatur di Amerika Serikat, dan bioteknologi menyediakan alat lain yang dapat membantu mengurangi jumlah zat ini dalam jagung.
6. Varietas makanan baru. Bioteknologi dapat memperluas kemajuan dalam perkawinan silang, memungkinkan adanya varietas makanan baru. Misalnya melon tanpa biji dan alpukat mini. Petani juga dapat mengembangkan pangan dengan rasa yang lebih baik dan profil nutrisi yang lebih baik.

F. MANFAAT KESEHATAN DAN MEDIS DARI BIOTEKNOLOGI

1. Bioteknologi pangan modern dapat membantu meningkatkan kesehatan masyarakat, menyediakan buah-buahan, sayuran, dan biji-bijian dengan lebih banyak manfaat nutrisi. Ini termasuk protein, vitamin dan mineral, atau lebih sedikit lemak dan lemak jenuh. Beberapa minyak sudah memiliki profil asam lemak yang lebih baik,

lebih sedikit lemak jenuh dan lemak trans, dan lebih banyak lemak tak jenuh tunggal. Ini dapat meningkatkan kesehatan jantung.

2. Bagi mereka yang alergi makanan, bioteknologi mencari cara untuk mengurangi alergen pada kacang tanah, gandum, dan tanaman lainnya.
3. Penerapan bioteknologi non-makanan suatu hari nanti dapat menghasilkan vaksin dan obat baru untuk mengobati penyakit jantung, kanker, dan diabetes. Misalnya, beberapa buah dan sayur akan mengandung lebih banyak antioksidan, seperti vitamin C dan E. Ilmuwan telah mengembangkan jenis beras yang mengandung vitamin A dan zat besi, sehingga mengurangi risiko kebutaan dan anemia yang merupakan makanan pokok mereka.

G. KEAMANAN BIOTEKNOLOGI PANGAN

Badan Pengawas Obat dan Makanan (FDA), bersama dengan Badan Perlindungan Lingkungan (EPA) dan Departemen Pertanian Amerika Serikat (USDA) bergabung untuk mengatur makanan yang direkayasa secara genetik. FDA memastikan bahwa makanan yang terbuat dari tumbuhan yang direkayasa secara genetik aman untuk dikonsumsi manusia dan hewan; USDA memastikan tanaman aman untuk tumbuh, dan EPA memastikan bahwa pestisida yang dimasukkan ke dalam tanaman ini aman untuk konsumsi manusia dan hewan serta untuk lingkungan. Makanan yang diproduksi melalui bioteknologi atau metode konvensional semuanya harus memenuhi standar keamanan tinggi yang sama.

H. PERSYARATAN PELABELAN

FDA telah memutuskan bahwa teknik baru untuk mengubah susunan genetik tanaman ini tidak berbeda secara signifikan dari teknik pemuliaan tanaman tradisional. Oleh karena itu, tidak diperlukan pelabelan khusus. Namun, protein alergi makanan yang umum akan membutuhkan pelabelan ulang. Misalnya, jika bahan genetik dari kacang tanah dimasukkan ke dalam tomat, maka tomat perlu diberi label. Persyaratan pelabelan khusus akan membuat orang yang alergi terhadap kacang tahu bahwa tomat mungkin mengandung protein kacang tanah yang dapat menyebabkan reaksi alergi. Selain itu, jika kandungan nutrisi atau komposisi makanan berubah secara substansial, diperlukan label tambahan.

I. LANGKAH APA YANG HARUS DILAKUKAN AGAR MASAYARAAT BISA MENERIMA PRODUK BIOTEKNOLOGI :

1. Pendidikan

Orang-orang yang menentang bioteknologi dan GMO (*Genetically Modified Organism*) melakukan ini karena kurangnya pengetahuan yang relevan. Ilmuwan harus mengadakan seminar untuk membuat orang sadar akan manfaat dan manfaat dari bioteknologi pangan. Jadi bahwa mereka dapat membuat pilihan dengan cerdas. Bioteknologi harus diajarkan di tingkat sekolah menengah untuk membuatnya remaja lebih sadar akan kemajuan dan potensi pro dan kontra bioteknologi. Pendidikan adalah kunci utama yang bisa berkembang positif sikap terhadap bioteknologi. Ini adalah tanggung jawab ilmuwan untuk membuat orang awam menyadari semua aspek termasuk potensi risiko bioteknologi. Ini akan mengembangkan kepercayaan pada pelanggan makanan.

2. Kolaborasi antara laboratorium dan Intitusi lokal dan internasional

Risiko potensial dari bioteknologi makanan termasuk reaksi alergi. Beberapa kasus reaksi alergi telah dilaporkan oleh masyarakat local laboratorium. Beberapa penelitian membuktikan alergi makanan GMO telah dilakukan di lakukan di laboratorium lokal. Lembaga internasional bioteknologi harus berkolaborasi dengan laboratorium lokal untuk membuktikan atau memalsukan ini dengan benar hasil.

3. Pelabelan makanan GMO

Makanan GMO harus diberi label dengan benar agar orang bisa membuatnya pilihan mereka sendiri. Tidak ada sistem pelabelan internasional. Secara sederhana dua huruf GMO digunakan yang merupakan singkatan dari rekayasa genetika. Orang-orang di seluruh dunia menginginkan sistem yang transparan untuk pelabelan. Pelabelan ini harus positif. Pelabelan negatif (kata-kata negative seperti "Bebas GMO") harus dihindari. Untuk pelabelan yang efektif, universal standar harus dikembangkan. Standar pelabelan internasional akan juga mempengaruhi perdagangan secara positif.

4. Lebih banyak penelitian

Penelitian diperlukan untuk membuktikan atau menyangkal klaim ilmuwan lokal terhadap konsumsi makanan GMO. Ketika orang awam bertanya tentang potensi risiko yang ditimbulkan oleh pangan GMO terhadap ekosistem dan manusia kesehatan, sedikit ilmuwan yang bisa menjawab. Kenapa begitu ?? Alasan utamanya adalah kekurangan penelitian yang terkait dengan bidang ini. Jadi untuk mengkomersilkan makanan GMO, ilmuwan harus memiliki keyakinan maksimal untuk mendukung pangan GMO dan berdebat dengan orang lain. Potensi Risiko Makanan GMO.

5. Risiko kesehatan

Beberapa kasus dipelajari di tingkat lokal yang menunjukkan beberapa alergi reaksi setelah penggunaan makanan GMO. Makanan GMO mengandung gen asing itu dapat menyebabkan hipersensitivitas dan reaksi alergi. Salah satu orang asing protein adalah Cry9 yang dikodekan oleh gen yang ada di bakteri tanah *Bacillus thuringiensis* telah terbukti *alergenik* untuk pakan ternak. menunjukkan bahwa OVA protein asing lain dapat menyebabkan alergi reaksi (peningkatan kadar *Histamin* dan penurunan darah sistolik tekanan). Tetapi penelitian lebih lanjut diperlukan untuk membuktikan ini.

6. Risiko terhadap lingkungan

Risiko potensial lainnya adalah transfer gen horizontal. Transgenik organisme saat terkena lingkungan alam dapat mentransfer gen ke organisme lain yang mengakibatkan transgen menyebar ke mana-mana. Akibat penyebaran ini dapat merusak ekosistem dan lainnya organisme. Tetapi penelitian lebih lanjut diperlukan untuk membuktikan ini.

J. RANGKUMAN MATERI

Teknologi pangan GM merupakan salah satu teknologi canggih di jaman ini memiliki potensi untuk mengatasi masalah gizi buruk, kelaparan dan kemiskinan. Di Meskipun banyak kemajuan, masih banyak orang yang menentang Makanan GMO. Orang-orang harus diberi tahu tentang potensi pro dan kontra melalui konduksi seminar. Bioteknologi harus diajarkan di

tingkat sekolah menengah untuk membuat orang lebih sadar. Bioteknologi memiliki berpotensi untuk memecahkan banyak masalah terkait kesehatan dan gizi orang negara berkembang dan dunia ketiga. Institusi seperti WHO, FDA dll. harus bekerja sama dengan pemerintah dunia ketiga untuk membuat *biosafety* hukum dan komersialisasi makanan GMO. Salah satu kelemahan bidang bioteknologi pangan adalah pelabelan. Pelabelan yang tepat dan positif diperlukan untuk sukses komersialisasi makanan GMO. Area lemah lainnya adalah kurangnya penelitian. Banyak pertanyaan yang diajukan tentang potensi risiko bioteknologi ilmuwan tidak bisa menjawab. Penelitian harus dilakukan untuk membuktikan atau memalsukan klaim terhadap bioteknologi. Debat dan seminar seharusnya dilakukan untuk meningkatkan kepercayaan dan kepercayaan orang-orang tentang makanan GMO.

TUGAS DAN EVALUASI

1. Sebutkan nama jenis bakteri pembuat bir dan yoghurt
2. Jelaskan dampak positif dan negative dari GMO

DAFTAR PUSTAKA

- Bhatia, S. C. (2017). Food biotechnology. In *Food Biotechnology*.
<https://doi.org/10.1201/9781315156491>
- Prianto, Y., & Yudhasasmita, S. (2017). Tanaman Genetically Modified Organism (GMO) dan Perspektif Hukumnya di Indonesia. *Al-Kauniah: Jurnal Biologi*. <https://doi.org/10.15408/kauniah.v10i2.5264>



BIOTEKNOLOGI UNTUK PENINGKATAN PRODUKTIVITAS HUTAN

Dr. Ir. Fransina.S.Latumahina,S.Hut.MP.IPP
Universitas Pattimura Ambon

A. PENDAHULUAN

Hutan adalah tempat penyimpanan biomassa terestrial, karbon tanah, dan keanekaragaman hayati terbesar di dunia. Hutan menyediakan berbagai jasa ekosistem penyediaan, pendukung, pengaturan dan budaya, yang sangat penting bagi kelangsungan hidup manusia. Selain itu, hutan berkontribusi besar dalam menjaga keseimbangan hidrologi lokal, menyediakan habitat yang aman bagi keanekaragaman mikroba, fauna, dan flora yang besar, hutan memainkan peran penting dalam konservasi keanekaragaman hayati. Konservasi keanekaragaman hayati adalah kunci untuk menjaga aliran jasa ekosistem, dan memiliki implikasi penting bagi generasi mendatang. penyerapan karbon oleh vegetasi hutan dengan menggunakan pendekatan bioteknologi mutakhir. Hutan dan kawasan berhutan lainnya menjalankan fungsi ekonomi dan ekologi utama, menyediakan barang dan jasa, melindungi tanah, mengatur air dan menyerap karbon. Hutan juga melindungi sebagian besar keanekaragaman hayati dunia. Dunia memiliki sedikit kurang dari 4 miliar hektar hutan,

meliputi sekitar 30 persen dari luas daratan dunia. Produksi kayu dan hasil hutan non kayu merupakan fungsi utama dari 34 persen hutan dunia. Lebih dari separuh hutan digunakan untuk produksi kayu dan non-kayu yang dikombinasikan dengan fungsi lain seperti perlindungan tanah dan air, konservasi keanekaragaman hayati dan rekreasi. Hanya 7 persen dari hutan di dunia yang berada dalam perkebunan, dengan keseimbangan ditemukan di tegakan hutan alami atau semi-alami, sebagian besar tidak dikelola dan tidak terdomestikasi. (Cohn et al., 2019)

Hutan tanaman semakin meluas, dan kontribusinya terhadap produksi kayu industri global mendekati 50 persen dari total. Sekitar 1,6 miliar orang sangat bergantung pada sumber daya hutan untuk mata pencaharian mereka. Sektor kehutanan berbeda dari sektor tanaman atau peternakan dalam beberapa hal penting, seperti pohon hutan merupakan tanaman keras berumur panjang yang heterozigot dengan kematangan seksual yang terlambat dan siklus regenerasi yang panjang, yang menempatkan prioritas tinggi pada pelestarian keanekaragaman genetik. Sebagian besar spesies pohon hutan memiliki adaptasi regional yang rendah, sehingga jumlah spesies yang digunakan untuk penanaman jauh lebih tinggi daripada tanaman pangan; pohon hutan berfungsi sebagai spesies kunci dalam ekosistem yang dinamis, sehingga mengatasi kehilangan berarti lebih dari sekadar kelangsungan hidup pohon; pohon hutan sebagian besar tidak terdomestikasi meskipun beberapa spesies mengalami peningkatan tingkat populasi selama satu hingga empat generasi. Untuk pengelolaan hutan yang beregenerasi secara alami, penanda berbasis DNA dan biokimia tersedia untuk semakin banyak spesies tropis. Saat ini, temuan tersedia untuk memandu rencana pengelolaan hutan operasional, termasuk di negara berkembang, tetapi hanya untuk jumlah yang sangat terbatas dari ratusan spesies pohon yang dikelola di hutan tropis yang beregenerasi secara alami. Area bioteknologi hutan terus berkembang, bergerak dari pengembangan alat ke akuisisi pengetahuan yang lebih didorong oleh hipotesis. (Sanchez-Bayo and Wyckhuys, 2019), (De Abreu et al., 2019)

B. PERANAN BIOTEKNOLOGI HUTAN

Produktivitas hutan tanaman sangat penting untuk memenuhi permintaan dunia masa depan akan kayu dan produk kayu secara berkelanjutan dan dengan cara yang melestarikan tegakan alam dan keanekaragaman hayati. Kehutanan perkebunan sangat diuntungkan dari pengembangan dan implementasi praktik silvikultur dan pengelolaan hutan yang lebih baik selama abad yang lalu. Gelombang kedua perbaikan telah dilakukan dengan pengenalan plasma nutfah baru yang dikembangkan melalui upaya genetika dan pemuliaan untuk spesies kayu keras dan pohon konifer.

Ditambah dengan perolehan genetik yang dicapai melalui pemuliaan pohon, kemunculan pendekatan bioteknologi baru yang mencakup bidang biologi perkembangan tanaman, transformasi genetik, dan penemuan gen yang terkait dengan sifat multigenik kompleks telah menambahkan dimensi baru pada program perbaikan pohon hutan. Kemajuan yang signifikan telah dicapai selama lima tahun terakhir di bidang regenerasi tanaman melalui organogenesis dan embriogenesis somatik (SE) untuk spesies pohon yang penting secara ekonomi. Kemajuan ini tidak hanya membantu pengembangan teknik transfer gen yang efisien, tetapi juga telah membuka jalan untuk penyebaran stok penanaman baru yang di replikasi secara *klonal* di hutan tanaman. (Dayakar and Subbarao, 2011). Salah satu tantangan terbesar saat ini adalah kemampuan untuk memperluas teknologi ini ke plasma nutfah paling elit, sehingga menjadi sarana yang secara ekonomi layak untuk produksi skala besar dan pengiriman stok tanam yang lebih baik. (Mouchet et al., 2010). Tantangan lainnya adalah kemampuan komunitas penelitian kehutanan untuk memanfaatkan dengan cepat penjelasan berbasis genomik saat ini dan masa depan dari mekanisme yang mendasari fenotipe penting namun kompleks. Kemajuan dalam kloning gen dan teknologi genomik pada pohon hutan telah memungkinkan penemuan dan pengenalan sifat-sifat bernilai tambah untuk kualitas kayu dan ketahanan terhadap cekaman biotik dan abiotik ke dalam genotipe yang lebih baik. Dengan kemajuan teknis ini, diperlukan infrastruktur dan proses peraturan yang andal di seluruh dunia untuk pengujian dan pelepasan pohon yang ditingkatkan melalui bioteknologi. (Mouchet et al., 2010). Komersialisasi stok tanam, sebagai varietas baru yang dihasilkan

melalui perbanyakan *klonal* dan program pemuliaan lanjutan atau sebagai pohon transgenik dengan sifat bernilai tinggi, diharapkan dalam waktu dekat, dan pohon-pohon ini akan meningkatkan kualitas dan produktivitas hutan tanaman kita. Paradigma dan kemajuan bioteknologi disektor kehutanan merupakan sumber pengetahuan yang kuat untuk melindungi hutan tropis di Indonesia, karena beragam penelitian di bidang *bioteknologi* akan sangat membantu dalam hal memandai molekuler menjadi *genomik*, dimana penanda molekuler dan *genomik* akan memberikan pengetahuan penting tentang hutan tropis yang beregenerasi secara alami terutama tentang sifat dari seluruh ekosistem hutan tropis, termasuk hubungan antara pohon hutan dan komunitas mikroba yang berinteraksi dengan mereka, yang dapat mempengaruhi, serta strategi yang digunakan untuk mengelola hutan tropis. Untuk hutan tanaman, meskipun ada beberapa tumpang tindih, kisaran bioteknologi yang digunakan secara umum sangat berbeda dari yang digunakan untuk hutan yang beregenerasi secara alami. Perkebunan dapat memiliki jenis sistem pengelolaan yang berbeda (misalnya intensif, semi intensif) dan menggunakan jenis materi genetik yang berbeda (misalnya bahan liar, pohon yang diperbaiki secara genetik). Tergantung pada tingkat intensitas pengelolaan dan materi genetik yang digunakan di hutan tanaman, berbagai kelompok bioteknologi dapat digunakan.

Sederhananya, tiga kelompok bioteknologi berbeda dapat diidentifikasi menurut jenis hutan tanaman, mulai dari yang paling tidak canggih hingga yang paling maju. Kelompok pertama bioteknologi cocok untuk hutan tanaman yang paling tidak dikelola secara intensif, dan mencakup berbagai metode perbanyakan vegetatif (termasuk mikropropagasi berdasarkan kultur jaringan), pupuk hayati dan sidik jari genetik menggunakan penanda molekuler. Perkembangan bioteknologi hutan juga dapat dilengkapi dengan awal. Kelompok kedua bioteknologi dapat digunakan untuk hutan tanaman yang menyediakan bahan baku industri dalam skala penanaman besar. Spesies tunggal yang digunakan untuk perkebunan mungkin asli atau eksotik, tetapi perkebunan ini dikelola secara intensif. Kelompok bioteknologi mencakup embriogenesis somatik (teknik kultur jaringan), penanda molekuler dan analisis lokus sifat kuantitatif (QTL), sekuensing genom keseluruhan, dan genomik fungsional. Disisi lain pengetahuan

bioteknologi hutan mencakup pendekatan *genomik* mundur dan mundur, *sekuensing* seluruh genom, perbanyakkan vegetatif berbiaya rendah, dan modifikasi genetik pohon hutan. Sampai saat ini, satu-satunya laporan penanaman komersial dengan pohon rekayasa genetika (GM) adalah untuk pohon *poplar*, di Cina. Akan tetapi, sebagian besar jenis pohon yang digunakan di hutan tanaman telah berhasil dimodifikasi pada tingkat percobaan, dan ciri-ciri yang menjadi subjek penelitian ekstensif meliputi bentuk batang, ketahanan herbisida, ciri pembungaan, kandungan lignin, ketahanan terhadap serangga dan jamur. Paradigma bioteknologi hutan di Indonesia mulai berkembang sejak satu dasawarsa terakhir dimana Bioteknologi Hutan diarahkan untuk tujuan konservasi hutan; mempromosikan penggunaan sumber daya hayati yang berkelanjutan, seperti tanaman obat, biji minyak yang terbawa pohon, resin dan tanaman penghasil lilin, mengembangkan alat untuk mitigasi dan adaptasi dampak perubahan iklim. (Latumahina, Mardiatmoko and Sahusilawane, 2020)

C. APLIKASI BIOKTEKNOLOGI KEHUTANAN DI INDONESIA

Aplikasi bioteknologi dalam pengelolaan hutan berperan penting dalam meningkatkan produktivitas dan konservasi sumber daya hutan. Bioteknologi di bidang kehutanan meliputi 3 bidang utama, yaitu penggunaan metode pembiakan kultur jaringan, penggunaan penanda molekuler dan rekayasa genetik untuk memproduksi tanaman transgenik. Penanda molekuler dapat digunakan untuk mendukung kegiatan pemuliaan dan konservasi sumber daya genetik. “Dengan menggunakan penanda molekuler, bibit unggul dapat dihasilkan dengan waktu yang lebih cepat dan lebih tepat. Penerapan teknik penanda molekuler juga sangat penting dalam konservasi sumber daya genetik. Bambang menjelaskan, informasi tingkat keragaman genetik dan sebarannya di hutan alam maupun tanaman dapat diketahui dengan teknik ini, sehingga konservasi sumber daya genetik dapat dilakukan secara efektif dan efisien untuk tanaman kehutanan, tetapi juga untuk hewan, khususnya yang dilindungi atau terancam punah. Melalui teknik kultur jaringan, pengadaan bibit tidak lagi tergantung musim dan bibit dapat diproduksi dalam jumlah banyak dengan waktu yang relatif lebih cepat. Penerapan teknik kultur jaringan tersebut dapat menjawab kebutuhan konservasi jenis, khususnya yang terancam punah karena faktor

jumlah individu yang sedikit di alam dan atau karena perbanyak jenis secara generatif sulit dilakukan. Banyak aplikasi bioteknologi untuk meningkatkan produktivitas hutan serta peran bioteknologi untuk konservasi flora dan fauna di Indonesia telah dilakukan melalui riset yang panjang antara lain enam belas hasil riset bioteknologi dengan topik Bioteknologi untuk Pemuliaan, Bioteknologi untuk Konservasi dan Asal Usul serta Perbanyak Tanaman dan Teknologi Invitro. Dalam pengembangan hutan tanaman, program pemuliaan merupakan salah satu kunci keberhasilan. Program tersebut dapat menghasilkan benih unggul (*improved seed*) yang dapat meningkatkan produksi kayu lebih dari 10% dan bahkan sampai 100% dibandingkan dengan menggunakan benih biasa (*unimproved seed*). Penelitian integratif akan menghasilkan luaran berupa IPTEK pengadaan benih unggul hutan tanaman penghasil kayu dan hasil hutan bukan kayu, IPTEK perbenihan hasil pemuliaan, demplot sumber benih jenis unggulan lokal dan IPTEK bioteknologi hutan. (Hartini et al., 2018)

Beberapa hasil penelitian bidang bioteknologi hutan di Indonesia hingga tahun 2011 yang dilaksanakan oleh BIOTIFOR telah menghasilkan benih unggul dari kebun benih semai generasi kedua (F-2) dari jenis *Acacia mangium*, *A.crassicarpa*, *Eucalyptus pellita* dan kayu putih. Beberapa demplot sumber benih dari jenis unggulan juga telah mendapatkan sertifikat IPTEK bioteknologi hutan saat ini diarahkan untuk menghasilkan informasi genetika populasi flora dan fauna, pemuliaan berbasis molekuler, bio-forensik untuk flora dan fauna, *bio-sekuritas*, *genome DNA* dan *teknik somatic embryogenesis (SE)*. *Somatic Embryogenesis* merupakan salah satu teknik kultur jaringan yang dapat memanfaatkan semua bagian tanaman untuk memproduksi materi tanaman lebih banyak dan homogen (Latumahina, 2018). Dengan menggunakan teknik ini, transformasi genetik (transgenik) dapat dilakukan. Kelebihan SE lainnya adalah untuk perbanyak tanaman yang bijinya rekalsitran dan untuk tanaman yang sulit berbuah (buah tidak berkembang). BIOTIFOR mulai melakukan SE untuk jenis *ekaliptus* pelita dan sengon sampai tahap kalus *embryogenesis*; jenis *magnium* dan suren sampai tahap pendewasaan kalus; serta jenis cendana sampai tahap protokol *embryogenesis* somatik dan aklimatisasi.

Beberapa perkembangan terbaru dalam bidang bioteknologi hutan yang telah dicapai oleh para peneliti kehutanan Indonesia antara lain :

- a. Teknik kultur jaringan telah menjadi cara perbanyak tanaman yang umum digunakan untuk menghasilkan bibit berkualitas dalam jumlah besar. Salah satu jenis penting penghasil karbohidrat, yaitu sagu juga telah dapat dihasilkan dengan teknik *somatic embryogenesis* (SE). SE. Keberhasilan teknik SE untuk sagu unggul menjadi asset penting bagi pengembangan sagu untuk memenuhi kebutuhan karbohidrat dalam skala besar.
- b. Perbanyak dengan kultur jaringan untuk jenis-jenis tumbuhan dengan nilai ekonomi tinggi seperti gaharu dan cendana telah berhasil dilakukan. Melalui teknik perbanyak ini diharapkan dapat mengatasi keterbatasan bahan tanaman, baik untuk tujuan produksi maupun konservasi.
- c. Kultur jaringan dapat digunakan untuk berbagai kepentingan. Dalam sesi ini lebih fokus pada perbanyak untuk produksi dan konservasi. Teknologi SE sebagai salah satu teknik multiplikasi berpotensi menjadi usaha komersial.
- d. Rekayasa genetika dan *molecular breeding* memberikan pilihan bagi pemuliaan tanaman dalam menentukan metode yang sesuai untuk mempercepat proses pemuliaan tanaman dan perakitan varietas baru. Upaya meningkatkan kualitas genetik dengan rekayasa genetika tanaman masih menjadi isu yang hangat. Perbedaan pendapat antara pihak yang pro dan kontra akan tetap ada sebagai wujud dinamika ilmu pengetahuan dalam masyarakat.
- e. Teknologi marka molekuler, seperti SSR, SNP telah banyak diaplikasikan pada tanaman hutan, khususnya jenis-jenis tanaman HTI. Sebagai contoh di kebun benih *Acacia mangium*, aplikasi marka DNA dapat dimanfaatkan untuk mengetahui dinamika genetik pohon-pohon yang ada di dalamnya sebagai konsekuensi dari keragaman genotipa, distribusi polen, sinkronisasi pembungaan. Marka molekuler juga telah diaplikasikan untuk identifikasi pathogen, sehingga kendala dalam mengidentifikasi pathogen dapat dilakukan secara lebih akurat dan cepat. Teknologi ini sangat bermanfaat dalam upaya mengendalikan penyakit pada tanaman hutan.

- f. DNA barcoding dapat diaplikasikan untuk mengkonservasi sumber daya alam, melalui identifikasi dari jenis-jenis tersebut. Data-data genetik jenis *indigenous* Indonesia diperlukan untuk mendeteksi jenis invasif. *Mitochondria* DNA paling banyak digunakan untuk DNA barcoding.
- g. DNA *fingerprinting*, melalui penyusunan *database*, dapat mendeteksi asal usul kayu. Keberhasilannya tergantung dari kemampuan mengekstraksi DNA kayu, jumlah populasi yang dikumpulkan sampelnya dan jenis-jenis marka DNA yang digunakan.
- h. Aplikasi marka molekuler juga bermanfaat untuk pelestarian/konservasi fauna dan flora. Informasi yang dibutuhkan antara lain *sexing* (pada fauna), keragaman genetik, hubungan kekerabatan, dan dinamika populasi.

D. RANGKUMAN MATERI

Hutan dan kawasan berhutan lainnya menjalankan fungsi ekonomi dan ekologi dan tidak hanya menyediakan barang dan mata pencaharian tetapi juga melindungi tanah, mengatur air dan menyerap karbon. Hutan juga melindungi sebagian besar keanekaragaman hayati dunia. FAO paling banyak tinjauan terkini tentang status keseluruhan sumber daya hutan, Sumber Daya Hutan Global Penilaian (FAO, 2006), menunjukkan bahwa dunia hanya memiliki di bawah 4 miliar hektar (ha) hutan, mencakup sekitar 30 persen dari luas daratan dunia dimana produksi hasil hutan kayu dan non kayu merupakan fungsi utama bagi 34 persen hutan dunia dan lebih dari separuh hutan digunakan untuk kayu dan non-kayu dalam kombinasi dengan fungsi lain seperti perlindungan tanah dan air, konservasi keanekaragaman hayati dan rekreasi. Hanya 5 persen dari hutan di dunia yang berada di perkebunan, dengan sisanya ada di tegakan hutan alami atau semi alami, sebagian besar tidak terkelola dan tidak terdomestikasi. Sekitar 1,6 miliar orang sangat bergantung pada sumber daya hutan untuk mata pencaharian mereka (World Bank, 2001). Enam puluh juta penduduk asli yang tinggal di hutan hujan Amerika Latin, Asia Tenggara dan Afrika Barat sangat bergantung pada hutan; 350 juta orang tinggal di, atau di sampingnya, hutan lebat bergantung padanya untuk mata pencaharian atau pendapatan; dan 1,2 miliar orang di negara berkembang menggunakan

pohon di pertanian untuk menghasilkan makanan dan uang. Bioteknologi hutan dapat berkontribusi untuk meningkatkan produktivitas dan mengurangi kerentanan ekosistem hutan terhadap penyakit, degradasi dan gangguan manusia. Tantangan terus berlanjut memastikan perolehan genetik yang cukup sambil mempertahankan keragaman genetik pada ekosistem dan tingkat lanskap. Hingga saat ini, bioteknologi hutan telah memberikan pengetahuan tentang cara mitigasi efek fragmentasi hutan pada keragaman genetik, dan bagaimana meningkatkan aliran gen dengan mengelola ekosistem hutan tropis untuk penyerbukan, penyebaran benih dan simbiosis tanah. Gambarnya sekarang mengikuti aplikasi bioteknologi dalam regenerasi alami hutan tropis dan di hutan tanaman. Beberapa bioteknologi tumpang tindih, meskipun sistem hutan sangat berbeda. Kehadiran bioteknologi hutan telah memberikan angin segar bagi perkembangan dunia kehutanan di Indonesia, sehingga diharapkan ke depan konsep ini terus melahirkan temuan – temuan baru untuk kemaslahatan di bidang kehutanan Indonesia.

TUGAS DAN EVALUASI

1. Jelaskan Peranan Bioteknologi Hutan!
2. Bagaimana Aplikasi bioteknologi dalam pengelolaan hutan
3. Jelaskan beberapa perkembangan terbaru dalam bidang bioteknologi hutan yang telah dicapai oleh para peneliti kehutanan Indonesia!
4. Jelaskan peranan hutan sebagai tempat penyimpanan biomassa terestrial, karbon tanah, dan keanekaragaman hayati terbesar di dunia!
5. Jelaskan paradigma bioteknologi hutan di Indonesia dalam satu dasawarsa terakhir!

DAFTAR PUSTAKA

- De Abreu, F. V. S. *et al.* (2019) 'Combination of surveillance tools reveals that yellow fever virus can remain in the same atlantic forest area at least for three transmission seasons', *Memorias do Instituto Oswaldo Cruz*. doi: 10.1590/0074-02760190076.
- Cohn, A. S. *et al.* (2019) 'Forest loss in Brazil increases maximum temperatures within 50 km', *Environmental Research Letters*. doi: 10.1088/1748-9326/ab31fb.
- Dayakar, S. and Subbarao, Y. (2011) 'Influence of addition of host larval extract to medium on the virulence of beauveria Bassiana (Balsamo) Vuillemin and Metarhizium anisopliae (metschnikoff) Sorokin against Spodoptera litura fab', *Journal of Biopesticides*, 4(1), pp. 91–95.
- Hartini, N. *et al.* (2018) 'Sintesis Nanoenkapsulasi Ekstrak Kulit Durian dengan Metode Spray Drying dan Aplikasinya sebagai Biopestisida: Review', *Jurnal Teknik Kimia dan Lingkungan*. doi: 10.33795/jtkl.v2i2.61.
- Latumahina, F. (2018) 'Patterns and Mechanisms of Ant Diversity in Two Types of Land Use within Protected Forest Area Sirimau City of Ambon Maluku Province', *Advances in Social Sciences Research Journal*, 5(3), pp. 184–189. doi: 10.14738/assrj.53.4263.
- Latumahina, F. S., Mardiatmoko, G. and Sahusilawane, J. (2020) 'Bird diversity on small islands in Maluku', *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 486, p. 012024. doi: 10.1088/1755-1315/486/1/012024.
- Mouchet, M. A. *et al.* (2010) 'Functional diversity measures: An overview of their redundancy and their ability to discriminate community assembly rules', *Functional Ecology*, 24(4), pp. 867–876. doi: 10.1111/j.1365-2435.2010.01695.x.
- Sanchez-Bayo, F. and Wyckhuys, K. A. G. (2019) 'Response to "Global insect decline: Comments on Sánchez-Bayo and Wyckhuys (2019)"', *Biological Conservation*. doi: 10.1016/j.biocon.2019.03.020.



BAB
9

BIOTEKNOLOGI DALAM BIDANG LINGKUNGAN

Dr. Eni Setyowati, S.P., S.Pd., MM.
IAIN Tulungagung

A. PENDAHULUAN

Bioteknologi merupakan cabang ilmu pengetahuan yang mempelajari tentang pemanfaatan makhluk hidup baik hewan, tumbuhan, mikroba, maupun bakteri yang digunakan untuk keperluan di bidang industri, jasa, maupun dalam pengelolaan lingkungan. Perkembangan bioteknologi sampai saat ini mengalami peningkatan yang pesat, mulai dari bioteknologi tradisional/konvensional hingga bioteknologi yang modern. Bioteknologi konvensional atau tradisional adalah bioteknologi yang memanfaatkan mikroba atau mikroorganisme, proses biokimia dan proses genetik alami untuk mengubah suatu bahan menjadi bahan pangan. Misalnya dalam proses pembuatan tempe, tape, anggur, maupun yoghurt. Bioteknologi konvensional ini biasanya biayanya sangat murah serta menggunakan peralatan yang sederhana. Prosesnya cukup lama dan tidak dapat diperkirakan hasilnya, serta kurang steril. Bioteknologi konvensional ini juga digunakan dalam berbagai bidang baik pangan, pertanian, peternakan dan kesehatan.

Bioteknologi konvensional berbeda halnya dengan bioteknologi modern. Bioteknologi modern tentunya lebih modern, memanfaatkan prinsip penelitian, menggunakan peralatan yang modern, serta manfaatnya semakin besar untuk masa yang akan datang. Bioteknologi modern juga digunakan dalam berbagai bidang, baik dalam bidang pangan, pertanian, peternakan, kultur jaringan, kesehatan, energi maupun lingkungan. Nurcahyo (2011) menyatakan bahwa bioteknologi modern menggunakan aplikasi metode yang mutakhir seperti rekayasa genetika, DNA rekombinan, kloning, PCR dan hibridisasi DNA.

Pada bab ini akan dibahas tentang bioteknologi dalam bidang lingkungan. Bioteknologi di bidang lingkungan atau yang sering disebut dengan bioteknologi lingkungan adalah pemanfaatan prinsip-prinsip serta perekayasa organisme, sistem maupun proses biologi untuk memperbaiki kualitas lingkungan. Pada bioteknologi lingkungan, biasanya menggunakan makhluk hidup baik tumbuhan, hewan, bakteri, mikroba dan jamur. Makhluk hidup itu direkayasa, kemudian dimanfaatkan untuk memperbaiki kualitas lingkungan.

Mengapa kita perlu mempelajari bioteknologi lingkungan? Perkembangan teknologi yang semakin pesat tentunya akan mengakibatkan perkembangan yang pesat pula di dunia industri. Perkembangan dunia industri di satu sisi akan meningkatkan kesejahteraan manusia, tetapi di sisi lain juga akan menimbulkan gangguan pada lingkungan, seperti adanya limbah yang dihasilkan dari proses industri itu sendiri. Selain limbah dari industri, limbah dari rumah tangga, pertanian dan peternakan pun juga bisa mengganggu lingkungan.

Limbah yang dihasilkan dari aktivitas manusia tersebut biasanya dibuang ke lingkungan, baik secara sengaja maupun tidak disengaja. Akibatnya limbah tersebut dapat menimbulkan pencemaran. Apalagi kandungan limbah tersebut sering kali berasal dari bahan-bahan pencemar yang sulit diuraikan di alam, sehingga akan terakumulasi di lingkungan. Sebagai contoh bahan-bahan pencemar tersebut adalah fungisida, insektisida, herbisida, rodentisida, minyak bumi, plastik, bahan kimia industri, bahan dari logam seperti timbal, *cadmium*, *merkuri*, *arsen* dan lainnya. Bahan-bahan pencemar tersebut apabila dibiarkan dapat berakibat fatal bagi manusia maupun makhluk hidup lain. Ini pernah terjadi pada

kasus penyakit *minamata* yang terjadi di Jepang pada tahun 1956. Penyakit ini disebabkan karena adanya pencemaran merkuri di perairan, sebagai akibat dari limbah pabrik kimia *Chisso Corporation*. Perairan tersebut banyak menghasilkan ikan dan hewan laut lainnya. Kemudian ikan tersebut dikonsumsi oleh masyarakat. Akibatnya banyak masyarakat yang keracunan dan mengalami kejang, lumpuh, bahkan kematian.

Perlu diketahui bahwa, sebenarnya bahan pencemar tersebut dapat mengalami perubahan dengan adanya mikroba yang mampu menguraikannya menjadi senyawa yang tidak berbahaya. Salah satunya dengan menggunakan metode biologi yang disebut dengan bioteknologi. Salah satu contoh teknik bioteknologi yang dapat menguraikan senyawa berbahaya menjadi tidak berbahaya adalah *bioremediasi*. *Bioremediasi* ini tidak menyebabkan kerusakan lingkungan, dan dapat mengurangi limbah secara jangka panjang atau permanen. Selain itu biaya juga lebih murah, alami, fleksibel serta mudah untuk digandakan skalanya.

Selain melalui *bioremediasi*, juga dapat dilakukan dengan rekayasa genetika. Rekayasa genetika dapat meningkatkan kapasitas degradasi melalui regulasi enzim, memasukkan gen yang mengkode enzim ke dalam bakteri. Sebenarnya masih banyak penggunaan bakteri dalam bioteknologi di bidang lingkungan ini.

Begitu pentingnya bioteknologi di bidang lingkungan, maka pada bab ini akan dibahas mengenai tinjauan bioteknologi lingkungan yang meliputi pengertian bioteknologi lingkungan, peran bioteknologi lingkungan dan perkembangan bioteknologi lingkungan. Selain itu juga akan dibahas tentang aplikasi bioteknologi di bidang lingkungan yang meliputi *bioremediasi*, *fitoremediasi*, dan *polihidroksiburat* (PHB). Bioteknologi di bidang lingkungan akan menawarkan solusi jangka panjang untuk mengatasi permasalahan lingkungan. Bioteknologi di bidang lingkungan juga akan mendukung pembangunan berkelanjutan.

B. TINJAUAN BIOTEKNOLOGI LINGKUNGAN

1. Pengertian Bioteknologi Lingkungan

Sebagaimana kita ketahui, pada saat ini perkembangan bioteknologi semakin luas, tidak hanya berdasar pada bidang biologi saja, tetapi juga pada ilmu terapan di bidang lain, seperti komputer, matematika, genetika,

biokimia, biologi molekuler dan lain sebagainya. Oleh karena itu, bioteknologi sering kali diartikan sebagai teknologi yang memanfaatkan makhluk hidup untuk memperoleh barang atau jasa serta untuk pengelolaan lingkungan, guna meningkatkan kesejahteraan hidup manusia. Bioteknologi banyak digunakan dalam berbagai bidang, salah satu bidang yang memanfaatkan bioteknologi adalah lingkungan. Berdasarkan pemanfaatannya di bidang lingkungan, maka bioteknologi lingkungan diartikan sebagai pemanfaatan prinsip-prinsip dan rekayasa terhadap organisme untuk memperbaiki kualitas lingkungan (Zulkoni, 2018).

Di bidang lingkungan, bioteknologi sangat penting, misalnya untuk pemulihan tanah yang tercemar dengan pemanfaatan mikroba atau tanaman, untuk pengolahan limbah, untuk mengontrol polusi udara, untuk proses *bleaching* dengan pemanfaatan enzim, untuk produksi bioenergi dengan pemanfaatan bahan yang terbarukan, maupun untuk pelestarian plasma nutfah.

Menurut Nurcahyo (2011), bioteknologi juga sering dimanfaatkan untuk pengolahan serta pemanfaatan sampah organik yang semakin hari volumenya cenderung semakin bertambah dengan sangat pesat. Pengolahan dan pemanfaatan sampah ini akan diharapkan dapat mengeliminasi sumber pencemaran, terutama pencemaran tanah dan air. Penerapan proses bioteknologi dapat mengubah sampah/limbah menjadi produk yang bermanfaat. Beberapa sampah/limbah yang dapat digunakan sebagai substrat fermentasi antara lain *molase*, *whey*, batang padi (damen) dan *bagasil* (ampas tebu).

2. Peran Bioteknologi Lingkungan

Bioteknologi di bidang lingkungan pada dasarnya berperan untuk menangani pengolahan limbah dan pengendalian polusi/pencemaran. Oleh karena itu, tujuan utama dari bioteknologi lingkungan pada dasarnya adalah pembuatan produk yang ramah lingkungan, yang memungkinkan untuk meminimalkan bahaya adanya pencemaran tanah, air maupun udara (Evans & Furlong, 2003).

Terdapat tiga poin yang penting dalam proses bioteknologi lingkungan, yaitu proses pembuatan, pengelolaan limbah dan pengendalian pencemaran. Banyaknya industri yang menghasilkan limbah dan sampah

menjadikan bioteknologi berperan penting dalam lingkungan. Bioteknologi lingkungan digunakan untuk pengolahan dan pemanfaatan material sampah dan limbah yang volumenya terus bertambah dengan pesat. Pemanfaatan sampah dan limbah ini akan berdampak mengurangi sumber pencemaran. Penerapan bioteknologi lingkungan dapat mengubah limbah dan sampah menjadi produk yang bermanfaat. Beberapa limbah dan material sampah yang dapat digunakan untuk substrat fermentasi adalah *molase*, *whey*, batang padi/damen serta ampas tebu.

Selain itu, bioteknologi lingkungan juga berperan untuk mengubah kualitas makanan dari limbah agar sesuai untuk konsumsi manusia, memberikan makanan dari bahan sampah atau limbah secara langsung maupun setelah pemrosesan kepada ikan, unggas atau ternak lainnya. Limbah juga banyak mengandung selulosa yang dapat diberikan sebagai pakan sapi atau ruminansia. Melalui metode dan pemilihan mikroorganisme yang tepat, pencemaran lingkungan dapat diatasi dengan bioteknologi lingkungan. Bioteknologi lingkungan juga ramah lingkungan dan biayanya relatif murah.

3. Perkembangan Bioteknologi Lingkungan

Perkembangan bioteknologi sangat pesat dalam berbagai bidang kehidupan, termasuk di bidang lingkungan. Penerapan bioteknologi dalam bidang lingkungan secara langsung berperan dalam pengelolaan lingkungan. Bioteknologi di bidang lingkungan digunakan untuk membersihkan lingkungan dari bahan pencemar, salah satunya melalui proses *bioremediasi*. Bioteknologi juga dapat digunakan untuk pencegahan pencemaran lingkungan, misalnya untuk mengubah benda dari yang berbahaya pencemar menjadi bahan yang tidak tercemar. Misalnya membuat plastik dari *polihidroksiburat* (PHB) yang dihasilkan dari bakteri *Alcaligenes uetrophus*.

Selain itu pemanfaatan sumber energi alternatif merupakan upaya untuk pencegahan pencemaran lingkungan. Misalnya penggunaan biodiesel untuk pengganti bensin. *Biodisel* ini dibuat dari tumbuh-tumbuhan yang dapat diperbaharui. Para peneliti di bidang bioteknologi saat ini terus melakukan penelitian baik melalui bakteri, mikroba ataupun makhluk hidup lain yang dapat dimanfaatkan di berbagai bidang dan tidak

menimbulkan pencemaran lingkungan. Berbagai penelitian yang dilakukan adalah membuat bakteri yang bermanfaat bagi industri dan tidak menimbulkan pencemaran. Mereka mendesain bakteri sehingga mampu melakukan fermentasi untuk menghasilkan produk yang efisien, mampu mengekspresikan gen tertentu dari mamalia, serta mampu mengubah sampah organik menjadi alkohol. Bakteri-bakteri ini akhirnya akan memberikan andil yang besar dalam ekosistem, menjaga kualitas lingkungan dan kualitas kehidupan makhluk hidup.

Melalui bioteknologi lingkungan akan mampu mengubah limbah padat, cair maupun gas menjadi bahan yang bisa dimanfaatkan, menggantikan beberapa bahan kimia buatan manusia, menghasilkan *biomaterial* yang lebih murah dan bernilai tinggi, menghasilkan zat baru yang alami yang tidak dibuat oleh pabrik, menghasilkan *biomaterial* yang *biodegradable*, menghasilkan limbah yang relatif lebih sedikit, ramah lingkungan dan dapat didaur ulang. Semakin pentingnya bioteknologi di bidang lingkungan, maka perkembangan bioteknologi lingkungan pun semakin pesat.

C. APLIKASI BIOTEKNOLOGI DALAM BIDANG LINGKUNGAN

Aplikasi bioteknologi dalam bidang lingkungan sangatlah luas. Biasanya digunakan di dalam mengatasi permasalahan lingkungan. Bioteknologi ini memanfaatkan agen tumbuhan, hewan, mikroba, bakteri dan lainnya. Bioteknologi dalam bidang lingkungan mempunyai peran penting di dalam pemanfaatan lingkungan. Bioteknologi dapat menggantikan penggunaan bahan-bahan kimia sintetis, misalnya dapat membuat plastik dari bahan yang bersifat *biodegradable* dari tanaman ataupun mikroba. Bioteknologi lingkungan juga dapat memanfaatkan proses *bioleaching*, yaitu menggantikan proses kimia dalam daur ulang kertas. Bioteknologi lingkungan juga bisa mengganti *deterjen* fosfat dengan detergen enzim. Bioteknologi lingkungan dapat memanfaatkan mikroba untuk keperluan industri. Bioteknologi lingkungan dapat dimanfaatkan untuk pengolahan limbah. Beberapa aplikasi bioteknologi dalam bidang lingkungan yang akan dipelajari dalam bab ini antara lain *bioremediasi*, *fitoremediasi* dan PHB.

1. Bioremediasi

Bioremediasi berasal dari kata *bio* dan *remediate*. *Bio* berarti hidup, *remediate* berarti kembali. Menurut Fahrudin (2014), remediasi berarti cara untuk memulihkan kondisi lingkungan dari yang semula tercemar sampai mencapai standar tertentu. Remediasi dapat dilakukan baik secara fisik, kimia dan biologi. Remediasi yang menggunakan cara biologi dinamakan dengan bioremediasi. Sehingga bioremediasi diartikan sebagai cara pemulihan kondisi lingkungan dari kondisi yang tercemar hingga mencapai standar tertentu dengan menggunakan agen makhluk hidup.

Bioremediasi ini tidak mengakibatkan kerusakan dan dapat mengurangi limbah secara permanen. Pada saat bioremediasi, kondisi lingkungan yang memadai akan membantu mikroba tumbuh, berkembang dan memakan polutan dengan cepat (Zulkoni, 2018). Terdapat beberapa teknik bioremediasi yang digunakan, yaitu biostimulasi, bioaugmentasi, biofilter, *bioreaktor*, *bioslurry*, *bioventing*, *composting* dan *landfarming*. Biostimulasi merupakan penggunaan nutrient guna memicu mikroba untuk melakukan biodegradasi dengan alami. Bioaugmentasi merupakan teknik untuk meningkatkan biodegradasi melalui penambahan enzim atau mikroba pada lingkungan yang tercemar. Biofilter merupakan teknik yang memisahkan gas organik dengan cara melewatkan udara melalui suatu carrier. Bahan organik itu dapat berupa kompos atau tanah. Bioreaktor merupakan teknik penanganan bahan pencemar yang dilakukan dalam tangki besar yang berisi enzim atau mikroba. Bioslurry merupakan teknik pengolahan tanah yang mengandung bahan pencemar hidrokarbon dengan menggunakan konsorsium bakteri pendegradasi hidrokarbon pada bioreaktor berbentuk slurry. Bioventing merupakan teknik yang hampir sama dengan biostimulasi, namun dilakukan dengan cara menyemburkan oksigen lewat tanah guna menstimulasi pertumbuhan enzim atau mikroba. *Composting* merupakan teknik yang dilakukan dengan cara mencampurkan bahan yang tercemar dengan kompos. *Landfarming* merupakan teknik untuk meningkatkan pertumbuhan mikroba dengan cara disebar ke tanah yang tercemar di lahan terbuka. Biasanya pada tanah yang tercemar oleh tumpahan minyak bumi menggunakan teknik *landfarming* atau *composting*.

Bioremediasi dapat dilakukan untuk mengatasi pencemaran lingkungan, baik pencemaran air, tanah maupun udara. Berikut akan diuraikan beberapa contoh aplikasi dari *bioremediasi* dalam mengatasi pencemaran lingkungan. Pertama, *bioremediasi* dapat dilakukan sebagai alternatif dalam mengatasi pencemaran air sebagaimana penelitian yang dilakukan oleh Priadie (2012). Priadie melakukan penelitian tentang aplikasi *bioremediasi* dalam mengatasi pencemaran air melalui isolasi bakteri serta penurunan kadar bahan pencemar. Isolasi bakteri dilakukan dengan bakteri indigenous maupun bakteri *commercial product*. Bakteri *indigenous* ini adalah hasil isolasi bakteri di laboratorium. Isolasi bakteri *indigenous* ini berasal dari lumpur sungai Siak, kemudian didapatkan 6 isolat. Keenam isolate bakteri tersebut dapat mereduksi logam timbal (Pb). Bakteri itu antara lain *Phenylo-bacterium*, *Micrococcus*, *Morrococcus*, *Corynebacterium*, *Enhydrobacter*, dan *Flavobacterium*.

Bakteri *commercial product* adalah bakteri yang dijual di pasaran. Bakteri *commercial product* yang digunakan adalah *Bacillus sp.* Setelah didapatkan isolat yang diinginkan, selanjutnya dilakukan perbanyakan bakteri untuk memproduksi inokulum. Perbanyakan pada bakteri *indigenous* dilakukan dengan proses pembuatan kultur stok, kemudian pemeliharaan kultur, lalu perbanyakan kultur tahap I, tahap II serta pembuatan kultur produksi. Sedangkan pada perbanyakan bakteri *commercial product* dilakukan dengan mengencerkan produk tersebut dengan dosis yang sesuai pada aturan dalam kemasan. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa bakteri *indigenous* dan bakteri *commercial product* dapat mereduksi atau mengurangi bahan pencemar Pb, nitrat, nitrit, bahan organik lain, sulfida, kekeruhan serta *ammonia* baik di sungai ataupun di danau.

Kedua, aplikasi *bioremediasi* untuk mengatasi pencemaran tanah yang tercemar pestisida. Puspitasari & Khaeruddin (2016) melakukan kajian tentang *bioremediasi* pada tanah. Sebagaimana kita ketahui bahwa penggunaan pestisida tak bisa lepas dari dunia pertanian untuk memberantas hama. Sementara, di sisi lain penggunaan pestisida yang berbahan kimia dapat menyebabkan pencemaran tanah. Oleh karena itu, perlu adanya upaya untuk mendegradasi senyawa berbahaya dalam tanah akibat pestisida melalui proses *bioremediasi*. Pada proses *bioremediasi*,

pestisida didegradasi oleh mikroorganismenya sebagai sumber karbon, sumber mineral atau sebagai penerima elektron pada proses respirasi. Hasil kajian *bioremediasi* dalam mengatasi pencemaran tanah meliputi *bioremediasi* pestisida *klorpirifos* dengan memanfaatkan *bioreactor scale up* dan *bioremediasi pestisida* secara in situ. *Bioremediasi* menggunakan *bioreactor scale up* dapat dilakukan dengan mengisolasi 1 mililiter subkultur *Pseudomonas aeruginosa* ke dalam tabung *erlenmeyer* 250 ml. Subkultur tersebut mengandung media kultur nutrient dengan konsentrasi *klorpirifos* 10 mg/l. Kemudian tabung inokulasi tersebut diinkubasi pada orbital *shaker* 160 rpm, 30°C selama 14 hari. Setelah mencapai 14 hari, 1 ml dari media kultur diambil dan kemudian diletakkan pada media kultur dengan konsentrasi pestisida 25 mg/l. Perlakuan dilakukan sampai 90 hari. Hasil menunjukkan bahwa *biodegradasi klorpirifos* pada 10, 25 dan 50 mg/l terintegrasi lengkap setelah periode 1, 5, dan 7 hari berturut-turut. Selanjutnya senyawa tersebut dikonversi menjadi biomassa dan nutrient.

Pada teknik *bioremediasi* pestisida dengan cara in situ pernah juga dilakukan oleh Setiyo, et. al (2011). Teknik in situ yaitu pengolahan yang dilakukan di tempat tanah yang tercemar. Lahan yang digunakan ditanami tomat. Lahan yang ditanami tomat dilakukan dua perlakuan dengan diberi pupuk organik yaitu kompos kotoran sapi dan tanpa pupuk kompos (digunakan sebagai kontrol). Kemudian pada saat tanaman telah berusia 1 bulan, dilakukan penyemprotan dengan pestisida/Ditane M-45 dengan berbagai konsentrasi. Pemiakan bakteri dan kapang tersebut diamati pada sampel tanah dengan berbagai kedalaman. Hasil menunjukkan bahwa berdasarkan pada C/N dan pH, mampu menghasilkan solusi yang baik yaitu mampu meresidu pestisida dengan cara mencampurkan kompos.

Ketiga, aplikasi *bioremediasi* juga dapat digunakan untuk mengatasi lingkungan yang tercemar merkuri dengan menggunakan mikroba. Suryani (2011) menyatakan bahwa kadar merkuri di dalam tanah sangat beragam, tergantung pada tingkat kedalamannya. Oleh karena itu kedalaman pengambilan contoh merupakan pedoman yang penting untuk mendapat data yang akurat. Pada dasarnya, terdapat tiga teknik *bioremediasi* untuk mengurangi merkuri yaitu dengan *metilasi*, reduksi *enzimatis* maupun pengendapan ion Hg^{2+} sebagai HgS yang tidak larut. Beberapa bakteri yang resisten terhadap merkuri pada umumnya adalah bakteri dalam kelompok

bakteri gram negatif maupun gram positif. Bakteri tersebut antara lain *Corynebacterium*, *Bacillus pseudomonas*, *Pseudomonas maltophilia*, *Micrococcus* dan *Vibrio*. Detoksifikasi merkuri oleh bakteri yang resisten terhadap merkuri dapat terjadi karena bakteri tersebut memiliki gen resisten merkuri.

Demikianlah, beberapa contoh aplikasi bioteknologi dalam bidang lingkungan dengan teknik *bioremediasi*. Perkembangan *bioremediasi* tentunya memerlukan dukungan dari berbagai pihak. Teknik *bioremediasi* ini relatif murah dan mampu menyelamatkan lingkungan dari degradasi yang tidak terkontrol. *Bioremediasi* juga dapat dilakukan tanpa menimbulkan kerusakan.

2. Fitoremediasi

Aplikasi bioteknologi dalam bidang lingkungan yang lain adalah dengan teknik *fitoremediasi*. *Fitoremediasi* berasal dari Bahasa Yunani fito dan remediate. Fito artinya tumbuhan dan *remediate* artinya kembali atau perbaikan atau penyembuhan. Jadi *fitoremediasi* adalah upaya untuk mengolah bahan pencemar baik di dalam tanah maupun air melalui tanaman (Zulkoni, 2018). Tujuan *fitoremediasi* pada dasarnya untuk memperbaiki kualitas tanah ataupun air serta mengubah senyawa yang berbahaya menjadi suatu senyawa yang tidak berbahaya.

Di dalam proses *fitoremediasi*, akar tumbuhan akan menyerap limbah logam dari tanah dan mentranslokasikannya ke bagian tanaman di atas tanah. Proses ini disebut *fitoakumulasi*. Namun demikian, setiap tanaman pastilah mempunyai kemampuan yang berbeda-beda dalam menyerap limbah logam. Setelah tanaman itu melakukan *fitoakumulasi*, selanjutnya akan mengalami *rizofiltrasi*. *Rizofiltrasi* merupakan proses pengendapan zat pencemar oleh akar yang selanjutnya akan ditempelkan pada bagian akar tersebut. Proses selanjutnya adalah penempelan zat tercemar tertentu pada akar. Zat tersebut tidak mungkin terserap ke dalam batang tumbuhan, akan tetapi menempel erat pada akar. Akibatnya, zat tersebut tidak terbawa oleh aliran air. Proses ini disebut dengan fitostabilisasi. Proses ini dapat dimanfaatkan untuk membangun kembali komunitas tanaman pada daerah yang dapat mematikan tanaman akibat tingginya kontaminasi dari logam. Setelah itu melakukan proses *rizodegradasi*, yaitu penguraian zat-

zat oleh aktivitas mikroba yang berada di sekitar tanaman. Kemudian melakukan *fitodegradasi*, yaitu suatu proses yang dilakukan tanaman untuk menguraikan zat pencemar. Zat pencemar tersebut awalnya mempunyai rantai molekul yang kompleks kemudian diuraikan menjadi bahan yang tidak berbahaya yang mempunyai susunan molekul yang lebih sederhana. Proses ini dapat berlangsung pada daun, batang, akar ataupun di luar akar dengan bantuan enzim dari tanaman itu sendiri. Proses selanjutnya adalah *fitovolatilasi*, yaitu proses menarik bahan pencemar oleh tumbuhan. Penarikan tersebut menjadi bentuk yang terurai menjadi bahan yang tidak berbahaya lagi, yang kemudian diupayakan ke atmosfer.

Beberapa tanaman yang dapat digunakan untuk *fitoremediasi* antara lain poplar (*Populus deltoides*), kayu apung (*Pistia stratiotes*), bunga matahari (*Helianthus annuus L*), kangkung (*Ipomea reptans*), kuping gajah (*Anthurium cristallinum*), jarak pagar (*Jatropha curcas L*), bambu air (*Equisetum hemale*) serta tanaman yang bersifat *hipertoleran*.

Beberapa aplikasi teknik fitoremediasi antara lain, pertama, penelitian yang dilakukan oleh Djo et.al (2017). Djo melakukan penelitian *fitoremediasi* dengan menggunakan tanaman enceng gondok (*Eichhornia crassipes*) guna menurunkan COD dan kandungan Cu dan Cr dari limbah cair laboratorium. Penelitian ini membiarkan enceng gondok seberat 840 gram tumbuh dalam 5 liter sampel limbah cair laboratorium. Waktu pembiaran selama 14 hari. Kandungan COD dan kandungan Cu dan Cr kemudian diukur setiap hari. Penelitian tersebut menunjukkan hasil bahwa terjadi penurunan kandungan COD, Cu dan Cr. Semakin lama waktunya, semakin meningkat pula penurunannya. Kemampuan enceng gondok dalam menyerap bahan pencemar disebabkan karena akarnya bercabang halus, dan dimanfaatkan oleh mikroorganisme untuk tempat pertumbuhan tanaman.

Kedua, aplikasi *fitoremediasi* yang dilakukan oleh Ratnawati & Fatmasari (2018). Ratnawati melakukan penelitian fitoremediasi pada tanah tercemar logam timbal (Pb) dengan menggunakan tanaman lidah mertua (*Sansevieria trifasciata*) dan tanaman jengger ayam (*Celosia plumosa*). Fitoremediasi pada tanah tercemar logam timbal dilakukan selama 4 minggu. Parameter yang dianalisis adalah konsentrasi logam timbal pada akar, batang dan daun. Hasil penelitian menunjukkan bahwa

tanaman lidah mertua mempunyai nilai efisiensi konsentrasi timbal sebesar 81,08% sedangkan tanaman jengger ayam sebesar 59,63%. Persebaran konsentrasi timbal baik pada tanaman lidah mertua maupun jengger ayam tertinggi pada bagian akar, dan terendah pada daun tanaman.

Ketiga, aplikasi *fitoremediasi* yang dilakukan oleh Siahaan et. al (2014) tentang *fitoremediasi* pada tanah tercemar merkuri dengan menggunakan kerak nasi (*Lindernia crustacea*), jampang pahit (*Digitaria radicosaa*), dan rumput teki (*Cyperus rotundus*). Selain itu juga dilihat pengaruhnya terhadap pertumbuhan dan produksi tanaman jagung. Sampel tanah diambil pada kedalaman 0-20 cm, dikering udarakan selama 3 hari, diayak dengan ayakan ukuran 2 mm. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa kandungan merkuri dalam tanah mengalami penurunan, artinya mengalami peningkatan merkuri yang hilang seiring dengan penambahan waktu. Dari ketiga tanaman yang digunakan, rumput teki mempunyai kemampuan menyerap kandungan merkuri paling banyak dibandingkan dengan tanaman yang lain. Hal ini menunjukkan bahwa setiap tanaman memang mempunyai kemampuan yang tidak sama dalam menyerap bahan pencemar. Akibat banyaknya bahan pencemar di dalam tanah, ternyata juga mempengaruhi pertumbuhan tanaman. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin tinggi kandungan merkuri akan menghambat pertumbuhan tanaman jagung, karena tanaman tidak akan mendapatkan unsur hara yang dibutuhkan. Akibatnya akar tidak dapat berkembang dengan sempurna serta akan mengganggu fungsinya dalam menyerap unsur hara dalam tanah.

Keempat, aplikasi *fitoremediasi* juga dapat dilakukan untuk mengatasi limbah rumah tangga dengan sistem simulasi tanaman air, sebagaimana penelitian yang dilakukan oleh Yusuf (2008). Tanaman air tersebut ditanam dan disimulasikan ke dalam kolam buatan dengan 4 komposisi yaitu tanpa tanaman air, dengan 2 jenis tanaman air, dengan 3 jenis tanaman air dan dengan 4 jenis tanaman air. Kemudian limbah cair dikumpulkan dari beberapa pemukiman. Selanjutnya limbah tersebut diencerkan dalam 4 konsentrasi yaitu pada konsentrasi 100%, 50%, 25% dan 12,5%. Kemudian limbah itu diberikan kepada tanaman. Berdasarkan hasil penelitian menunjukkan bahwa tanaman air tersebut mampu meningkatkan kualitas limbah rumah tangga baik secara fisik, kimia maupun mikrobiologi. Kualitas limbah mengalami peningkatan mulai dari yang tidak memenuhi standar

menjadi memenuhi standar. Semakin banyak tanaman air akan semakin baik tingkat kualitas limbah tersebut. Tanaman air yang bisa digunakan adalah mending, teratai, kiambang, kayu apu dan *hydrilla*.

Berdasarkan beberapa aplikasi bioteknologi dengan teknik *fitoremediasi* di atas, menunjukkan bahwa terdapat beberapa metode bagaimana tanaman dapat memulihkan area yang terkontaminasi bahan pencemar. Tanaman mampu mengurai atau mendegradasi polutan organik serta menstabilkan polutan anorganik dengan bertindak sebagai filter. *Fitoremediasi* ini tidak membutuhkan biaya yang besar, namun efektif dalam mengatasi berbagai permasalahan pencemaran lingkungan. *Fitoremediasi* ini juga memanfaatkan proses alami dalam pembersihan polutan di lingkungan.

3. Polihidroksibutirat (PHB)

Produk berbahan plastik saat ini semakin banyak digunakan dalam kehidupan masyarakat. Peningkatan penggunaan produk berbahan plastik ini dikarenakan lebih praktis dan efisien. Saat ini banyak kita temui produk berbahan dasar plastik baik untuk alat rumah tangga, elektronik maupun sebagai pembungkus. Semakin tingginya penggunaan plastik, tentunya akan mendorong industri untuk terus memproduksi plastik lebih banyak. Padahal, plastik merupakan bahan yang sulit untuk didegradasi oleh alam, yang tentunya semakin lama akan menyebabkan timbulnya permasalahan lingkungan, yaitu limbah plastik.

Jika limbah plastik ini tidak segera tertangani, maka akan menyebabkan permasalahan yang serius. Plastik yang ada pada umumnya berasal dari bahan yang tidak terbarukan, antara lain petroleum, gas alam dan lainnya. Salah satu cara yang dapat dilakukan untuk mengatasinya adalah dengan mengganti penggunaan plastik dari bahan yang tidak dapat terbarukan ke bahan yang *biodegradable* atau dapat diuraikan oleh alam. Plastik dari bahan *biodegradable* ini akan diuraikan oleh mikroorganisme sehingga tidak akan mencemari lingkungan dan dapat diuraikan secara alami oleh mikroorganisme yang hidup dalam tanah.

Bahan plastik yang *biodegradable* adalah *polihidroksibutirat* (PHB), *polihidroksialkanoat* (PHA), poli asam amino yang berasal dari bakteri, dan *poliaktida* (PLA). Bahan ini berasal dari *selulosa*, *kitin*, *kitosan*, atau tepung

yang terdapat dalam tanaman atau hewan. PHB merupakan salah satu bahan bioplastik yang diproduksi dari bahan baku yang terbarukan. Bahan ini dapat digunakan sebagai salah satu alternatif pengganti plastik yang berbahan minyak bumi. PHB sendiri ditemukan sejak tahun 1926 oleh *Lemoigne*, tetapi baru dikembangkan mulai tahun 1970-an. Secara molekuler, PHB merupakan polimer dengan sifat optik aktif dari *hidroksiburat* (3-hidroksibutanoat). PHB merupakan polimer yang banyak dikenal karena telah diproduksi secara massal oleh ICI, perusahaan di Jepang. PHB juga telah digunakan untuk pengemasan obat, bahan sekali pakai, serta pembalut luka. PHB digunakan pula untuk benang jahit operasi bedah dan dapat ditenun seperti bahan wol katun yang banyak digunakan sebagai popok bayi.

PHB ini diproduksi oleh beberapa bakteri secara intraseluler pada kondisi pertumbuhan substrat yang tidak seimbang, yaitu saat nitrogen, oksigen dan fosfor terbatas, tetapi sumber karbon berlebih serta terakumulasi di dalam sel dalam bentuk *granula intraseluler*. Namun, penggunaan bahan PHB, saat ini masih mengalami kendala terutama biaya yang mahal. Besarnya biaya ini dapat ditekan dengan menggantikan sumber karbon glukosa dengan substrat yang lebih murah misalnya limbah yang masih banyak mengandung karbohidrat seperti limbah dari pabrik makanan ataupun pabrik susu.

Beberapa aplikasi PHB ini telah banyak dilakukan. Pertama, Rahayu, et. al (2017) telah melakukan penelitian dengan melakukan konversi *gliserol* menjadi *polihidroksi butirat* dengan menggunakan bakteri *Eschericia coli*. Bakteri ini dibiakkan dengan kultur media yang terdiri dari 1% laktosa, pepton dan NaCl. Kemudian dilakukan inkubasi pada suhu 37oC selama 24 jam. Kultur bakteri yang dihasilkan kemudian ditambah dengan media gliserol 10, 20, 30, 40 dan 50 g/L. Selanjutnya difermentasi 24, 48, 72 dan 96 jam, kemudian dilanjutkan *sentrifuge* dan fase padatan dikeringkan serta ditimbang sebagai biomassa. PHB diekstraksi dari biomassa dengan menggunakan kloroform. Hasil penelitian menunjukkan bahwa PHB dapat disintesis dengan menggunakan gliserol dan bakteri *Eschericia coli*. PHB yang dihasilkan semakin bertambah dengan semakin banyak waktu.

Kedua, aplikasi lain adalah dengan merekayasa bioplastik yang digunakan untuk kemasan makanan dari *khitosan* limbah kulit udang serta pati tapioka dengan menggunakan minyak kelapa sawit sebagai melastis (Hasan, et. al, 2010). Hasil penelitian menunjukkan bahwa film bioplastik dari pati tapioka dan *khitosan* dapat dibuat. Hal ini dapat digunakan sebagai alternatif dalam mengatasi permasalahan limbah plastik yang tidak dapat diuraikan secara alami.

Ketiga, aplikasi limbah kelapa sawit yang digunakan untuk memproduksi *polihidroksialkanoat* (PHA) sebagai bioplastik yang dilakukan oleh Hasibuan (2020). Limbah cair dan limbah padat dari industri kelapa sawit adalah bahan yang berpotensi untuk memproduksi PHA. Bahan baku yang dapat digunakan untuk sumber PHA dari industri kelapa sawit adalah minyak sawit, minyak inti sawit serta limbah cair dari industri kelapa sawit. Limbah cair dari industri kelapa sawit mengandung asam lemak. Sedangkan limbah padat kelapa sawit berupa tandan kosong sawit yang mengandung selulosa yang dapat dikonversi menjadi gula pereduksi. PHA adalah plastik yang dapat terurai secara hayati yang disintesis oleh bakteri dari substrat termasuk asam lemak dan gula. PHA berpeluang menggantikan plastik sintetik untuk bahan kemasan. Namun, sampai saat ini produk PHA dari kelapa sawit masih memerlukan biaya yang tinggi.

Keempat, aplikasi pembentukan PHA dari limbah cair dengan menggunakan *sequencing batch reactor* (SBR) yang dilakukan oleh Purnama & Setiadi (2001). Percobaan dilakukan di dalam reaktor 10 liter untuk mengolah limbah sintesis tapioka. SBR dioperasikan dalam waktu 12 jam, dengan melalui tahap pengisian, reaksi, sedimentasi dan dekantasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada kondisi anaerob mampu meningkatkan akumulasi pembentukan PHA. Semakin lama waktu anaerob, titik leleh PHA semakin rendah, ini berarti kandungan PHA semakin tinggi.

Beberapa aplikasi di atas, menunjukkan bahwa salah satu upaya menggantikan plastik konvensional adalah memproduksi plastik dari bahan yang *biodegradable*. Plastik dari jenis yang *biodegradable* dapat membantu dalam mengatasi permasalahan lingkungan yang diakibatkan oleh limbah plastik yang tidak dapat diuraikan oleh alam.

D. RANGKUMAN MATERI

Bioteknologi lingkungan merupakan bioteknologi yang digunakan dalam bidang lingkungan yang bertujuan untuk mengatasi permasalahan lingkungan baik pencemaran tanah, air maupun udara. Aplikasi bioteknologi di bidang lingkungan juga untuk pengolahan limbah dan pelestarian plasma nutfah. Bioteknologi lingkungan ini menawarkan solusi jangka panjang dalam mengatasi permasalahan lingkungan. Bioteknologi lingkungan memanfaatkan mikroba, tanaman, bakteri untuk mengontrol dan mengolah limbah agar tidak menimbulkan permasalahan lingkungan.

Beberapa aplikasi dari bioteknologi dalam bidang lingkungan adalah teknik bioremediasi, fitoremediasi, dan produksi PHB. Bioremediasi adalah cara pemulihan kondisi lingkungan dari kondisi yang tercemar oleh bahan pencemar hingga mencapai standar tertentu dengan memanfaatkan agen makhluk hidup.

Teknik *bioremediasi* dapat dilakukan dengan *biostimulasi*, *bioaugmentasi*, *biofilter*, *bioreaktor*, *bioslurry*, *bioventing*, *composting* dan *landfarming*. Aplikasi bioteknologi dalam bidang lingkungan yang lain adalah dengan teknik *fitoremediasi*. *Fitoremediasi* adalah upaya untuk mengolah bahan pencemar baik di dalam tanah maupun air melalui tanaman. Tujuan *fitoremediasi* pada dasarnya untuk memperbaiki kualitas tanah ataupun air serta mengubah senyawa yang berbahaya menjadi suatu senyawa yang tidak berbahaya. Aplikasi berikutnya adalah dengan mengganti bahan plastik yang tidak dapat diuraikan oleh alam menjadi bahan plastik yang dapat diuraikan (*biodegradable*). Plastik dari bahan *biodegradable* ini akan diuraikan oleh mikroorganisme sehingga tidak akan mencemari lingkungan dan dapat diuraikan secara alami oleh mikroorganisme yang hidup dalam tanah. Bahan plastik yang *biodegradable* adalah *polihidroksiburat* (PHB), *polihidroksialkanoat* (PHA), poli asam amino yang berasal dari bakteri, serta *poliaktida* (PLA). Bahan ini berasal dari selulosa, *kitosan*, *kitin* atau tepung yang terkandung dalam tanaman atau hewan.

TUGAS DAN EVALUASI

1. Mengapa bioteknologi di bidang lingkungan itu penting? Jelaskan!
2. Apa yang membedakan antara *bioremediasi* dan *fitoremediasi*? Jelaskan dan berikan contoh!
3. Seorang direktur sebuah industri pabrik gula mempunyai kebijakan untuk mengolah limbah hasil buangan industri. Direktur tersebut ingin melakukan teknik pengolahan limbah tersebut namun tidak mencemari lingkungan. Teknik apa yang dapat dilakukan sesuai dengan yang diinginkan oleh direktur tersebut?
4. Akibat banyaknya limbah yang terbuang ke sungai, menyebabkan air di sungai tersebut banyak mengandung bahan pencemar. Seorang peneliti bermaksud mengurangi kadar bahan pencemar yang ada di sungai tersebut dengan menanam tanaman enceng gondok di sekitar sungai tersebut. Teknik apakah yang dilakukan oleh peneliti tersebut? Jelaskan proses yang akan dilakukan oleh peneliti tersebut!
5. "Pemerintah Indonesia telah berkomitmen untuk mengurangi 70 persen sampah laut pada tahun 2025, sebagaimana tertuang dalam Rencana Aksi Sampah Laut, sebuah rencana kerja sama di tingkat nasional yang bertujuan untuk mengembangkan kebijakan untuk mengurangi dan menanggulangi sampah laut," kata Kepala BRSDM KKP Sjarief Widjaja dalam siaran pers di Jakarta, Rabu 9 Desember 2020 (bisnis.tempo.co). Apa yang dapat Anda sarankan terkait dengan komitmen pemerintah tersebut? Jelaskan!

DAFTAR PUSTAKA

- Djo, Y.H.W., Suastuti, D.A., Suprihatin, I.E. & Sulihingtyas, W.D. (2017). Fitoremediasi Menggunakan Tanaman Enceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) untuk Menurunkan COD dan Kandungan Cu dan Cr Limbah Cair Laboratorium Analitik Universitas Udayana. *Jurnal Cakra Kimia*. 6(2), 137-144.
- Evans, G.M. & Furkang, J.C. (2003). *Environmental Biotechnology: Theory and Application*. England: John Wiley & Sons.
- Fahrudin. (2014). *Bioteknologi Lingkungan*. Bandung: Alfabeta.
- Hasan, M., Rusman & Hanum, L. (2010). Rekayasa Bioplastik untuk Kemasan Makanan dari Khitosan Limbah Kulit Udang dan Pati Tapioka dengan Minyak Kelapa Sawit Sebagai Pemlastis. *Jurnal Purifikasi*. 11(2), 171-176.
- Hasibuan, H.A. (2020). Peluang Limbah Kelapa Sawit untuk Produksi Polihidroksialkanoat Sebagai Bioplastik. *Jurnal Perspektif*. 19(2), 79-94.
- Nurchahyo, H. (2011). Diktat Bioteknologi. Yogyakarta: Program Studi Pendidikan Biologi, FMIPA, Universitas Negeri Yogyakarta.
- Priadie, B. (2012). Teknik Bioremediasi Sebagai Alternatif Dalam Upaya Pengendalian Pencemaran Air. *Jurnal Ilmu Lingkungan*. 10(1), 38-48.
- Purnama, H. & Setiadi, T. (2001). Pembentukan Polihidroksialkanoat (PHA) dari Limbah Cair dengan *Sequencing Batch Reactor* (SBR). Prosiding Seminar Nasional “Kejuangan” Teknik Kimia Pengembangan Teknologi Pengelolaan Sumber Daya Alam Indonesia.
- Puspitasari, D.J. & Khaeruddin. (2016). Kajian Bioremediasi Pada Tanah Tercemar Pestisida. *Jurnal Kovalen*. 2(3), 98-106.
- Rahayu, E.F., Trsunaryanti, W. & Wijaya, K. (2017). Konversi Gliserol Menjadi Polihidroksibutirat dengan Menggunakan Bakteri *Eschericia coli*. *Indonesian Journal of Chemical Science*. 6(3), 287-293.
- Ratnawati, R. & Fatmasari, R.D. (2018). Fitoremediasi Tanah Tercemar Logam Timbal (Pb) Menggunakan Tanaman Lidah Mertua (*Sansevieria trifasciata*) dan Jengger Ayam (*Celosia plumosa*). *Ar-Rad: Jurnal Teknik Lingkungan*. 3(2): 62-69.

- Setiyo, Y., Madew, S.U., Wayan., T. & Gunadya, I.P.P. (2011). Optimalisasi Proses Bioremediasi Secara In Situ Pada Lahan Tercemar Pestisida Kelompok Mankozae. *Jurnal Teknik Industri*. 12(1), 51-56.
- Siahaan, B.C., Utami, S.R. & Handayanto, E. (2014). Fitoremediasi Tanah Tercemar Merkuri Menggunakan *Lindernia crustacea*, *Digitaria radicosaa*, dan *Cyperus rotundus* Serta Pengaruhnya Terhadap Pertumbuhan dan Produksi Jagung. *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan*. 1(2), 35-51.
- Suryani, Y. (2011). Bioremediasi Limbah Merkuri Dengan Menggunakan Mikroba Pada Lingkungan Yang Tercemar. *Jurnal Bioremediasi*. 5(1-2), 139-148.
- Zulkoni, A. (2018). *Diktat Bioteknologi*. Yogyakarta: Nuha Medika



BAB
10

PERKEMBANGAN BIOTEKNOLOGI DALAM BIDANG KESEHATAN

Solikhah Ana Estikomah., S.Si.,M.Si.
Universitas Darussalam Gontor

A. PENDAHULUAN

Bioteknologi dalam bidang kesehatan memberikan kesempatan dalam pemecahan masalah yaitu mendiagnosa, mencegah, serta mengobati berbagai penyakit termasuk penyakit genetik. Penerapan antibodi *monoklonal* dapat membantu mendiagnosa suatu penyakit (Prentis, 1984) Dalam kehidupan kita sehari-hari, secara langsung maupun tidak langsung, sebagian dari kita pernah berhubungan dengan penerapan bioteknologi bidang kesehatan. Widyastuti (2017) melaporkan bahwa perkembangan bioteknologi di bidang kesehatan yaitu terapi gen yang dapat digunakan untuk penanganan penyakit baik bersifat genetik ataupun bukan. Arah perkembangan bioteknologi modern didorong oleh tujuan meningkatkan kualitas lingkungan dan kesehatan umat manusia maupun untuk pemanfaatan tertentu. Manfaat bioteknologi bidang obat-obatan farmakologi, bidang kesehatan, bersumber dari aspek penelitian dan penerapan teknik-teknik dan metode-metode barunya yang mampu mengubah dan mengendalikan perkembangan berbagai organisme hidup

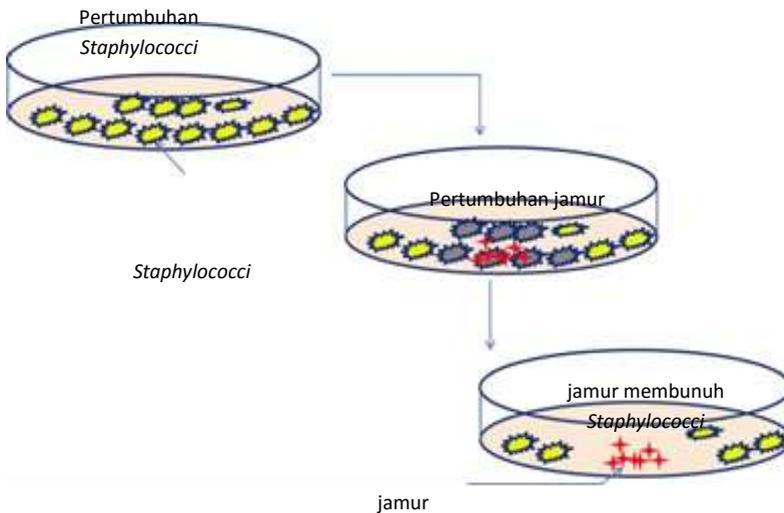
Kontribusi bioteknologi dalam kesehatan dalam berbagai produk, meliputi pengobatan infeksi bakteri, pengobatan diabetes, gangguan kekebalan tubuh, kanker, dan penyakit degeneratif seperti infark jantung dan penyakit *neurodegeneratif* (Penyakit Parkinson, penyakit Alzheimer, atau penyakit stroke), Pemanfaatan bioteknologi dalam kesehatan pada produksi hormon insulin dan pertumbuhan, para ilmuwan telah menggunakan teknologi DNA rekombinan untuk diberikan pada pasien yang menderita berbagai penyakit seperti diabetes dan kelainan genetik. Kemajuan dunia kedokteran tidak terlepas dari peran bioteknologi. beberapa produk utama berbasis bioteknologi yang telah banyak digunakan dalam bidang kesehatan antaranya antibiotik.

B. ANTIBIOTIK

Produk bioteknologi yang dimanfaatkan dalam bidang kesehatan salah satunya dihasilkan senyawa antibiotik yang dapat menghambat bakteri patogen. Antibiotik adalah substansi kimiawi yang umumnya digunakan untuk mengobati infeksi oleh bakteri. Antibiotik yang pertama kali ditemukan oleh Sir Alexander Fleming pada tahun 1929. Antibiotik yang dihasilkan oleh kapang *Penicillium notatum* disebut penisilin. Penisilin merupakan antibiotik pertama yang digunakan pada perang dunia kedua dalam mengatasi penyakit infeksi yang diakibatkan oleh bakteri *S. aureus*. Beberapa tahun kemudian ditemukan strain lain *P. chrysogenum*, yang memiliki kemampuan produksi yang lebih baik. Sebagian *antibiotic* dihasilkan oleh jamur tertentu atau bakteri dari kelompok *Actinomyces* yang umumnya terdapat di tanah. Produksi masal antibiotik pertama pada tahun 1940-an. Pada awalnya, antibiotik diproduksi secara alami, tetapi sekarang telah dimodifikasi secara kimia sehingga merupakan proses semi sintesis dan diproduksi dengan teknik DNA rekombinan (Khan,2014). Antibiotik sangat direkomendasikan sebagai infeksi bakteri yang dapat dilihat pada gambar 10.1 dan gambar 10.2.



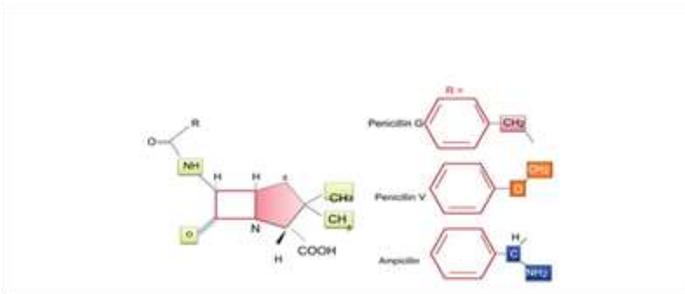
Gambar 10.1. Penerapan mikroorganisme dan virus dalam pembuatan obat menggunakan bioreaktor dan teknologi DNA rekombinan.



Gambar 10.2 Penelitian Pertama yang dilakukan oleh Dr. Alexander menghasilkan obat antibiotik penisilin.

Penerapan mikroorganisme dan virus dalam pembuatan obat menggunakan teknologi bioreaktor dan DNA rekombinan Antibiotik pada dasarnya zat yang diproduksi oleh mikroorganisme yang biasanya menghambat pertumbuhannya. Belakangan, antibiotik menjadi tersedia secara luas sebagai obat untuk mengobati infeksi mikroba pada manusia, terutama keberadaan penisilin (Gambar 10.3) sebagai antibiotik yang paling banyak digunakan. Saat ini berbagai mikroorganisme telah

dimanfaatkan untuk menghasilkan obat antibiotik dengan menggunakan alat bioteknologi canggih.



Gambar 10.3 Struktur penisilin G, penisilin V, dan ampisilin.

Bidang bioteknologi telah berhasil penemuan struktur heliks ganda dari *molekul asam nukleat deoksiribosa* (DNA) oleh James Watson dan Francis Crick pada tahun 1953, yang mengklaim menemukan struktur heliks DNA manusia, molekul yang membawa informasi genetik dari satu generasi ke generasi lainnya. Sembilan tahun kemudian, pada tahun 1962, mereka di berikan Nobel dengan Wilkins untuk memecahkan salah satu teka-teki biologis terpenting. Penemuan ini telah menyebabkan lahirnya pemetaan genetik, manipulasi, dan bidang tipe rekayasa genetika, dengan bantuan rekayasa genetika, gen yang diinginkan dapat dipotong dan dimasukkan ke dalam genom organisme hidup lain (mikroorganisme dan virus) dan proses penyisipan dan manipulasi gen ini disebut teknologi DNA rekombinan. Selama beberapa tahun terakhir, teknologi DNA rekombinan telah digunakan secara luas untuk menghasilkan produk terapeutik (insulin dan hormon pertumbuhan) untuk mengobati penyakit manusia. Dengan peningkatan jumlah pasien yang pesat di seluruh dunia, terdapat cakupan yang luar biasa untuk mengidentifikasi dan membuat obat untuk berbagai penyakit manusia, dengan Ketersediaan alat bioteknologi, sekarang memungkinkan untuk mengembangkan terapi untuk berbagai macam penyakit (Khan,2014).

Tabel 10.1 Pencapaian bioteknologi dalam bidang kesehatan

Tahun	Sejarah Penemuan/milestone
1882	Kromosom ditemukan di larva salamander
1944	Dna sebagai penentu keturunan
1963	Pekodean Materi Genetik
1971	Perusahaan bioteknologi pertama di dunia didirikan di California, AS
1979	Hormon pertumbuhan manusia produk bioteknologi pertama, yang juga menjadi yang pertama obat bioteknologi rekombinan yang diproduksi dan dipasarkan oleh suatu bioteknologi perusahaan
1980	Genentech menjadi perusahaan bioteknologi pertama yang go public, menghasilkan \$ 35 juta dalam penawaran dimuka umum perdana
1983	Stanford School of Medicine menjadi yang pertama melakukan skrining darah untuk mencegah AIDS penularan
1984	Teknik sidik jari DNA pertama di dunia dikembangkan
1984	Chiron Corporation mengumumkan kloning dan urutan pertama dari keseluruhan Genom virus HIV
1984	Genentech mendapatkan persetujuan USFDA untuk memasarkan hormon pertumbuhan manusia, produk rekombatan pertama yang akan dijual oleh perusahaan bioteknologi
1986	USFDA memberikan penghargaan Chiron Corporation, lisensi untuk produksi pertama kali vaksin rekombatan untuk melawan virus hepatitis B
1988	"Harvard Mouse" menjadi mamalia pertama yang dipatenkan di Amerika Serikat
1991	Pasien kanker diobati dengan terapi gen yang menghasilkan faktor nekrosis tumor, protein melawan tumor secara alami
1995	Urutan gen lengkap pertama dari organisme hidup selain virus selesai untuk bakteri influenza hemofilik

1997	Seekor domba bernama "Dolly" menjadi mamalia pertama yang dikloning
2002	Vaksin pertama melawan perkembangan kanker serviks

(Khan,2014)

Bahwa zat kimia sebagai penisilin. Segera setelah penemuan ini, penisilin dianggap menjadi obat yang paling efektif melawan bakteri (Bakteri gram positif), dan sama sekali tidak efektif melawan bakteri Gram negatif. Penemuan penisilin menandai awal produksi antibiotik dan sejauh ini lebih dari 200 jenis antibiotik telah diproduksi (Gambar 10.3).

C. RECOMBINAN INSULIN

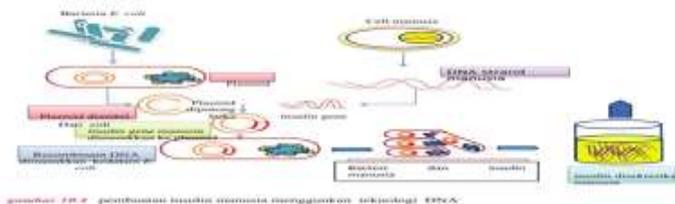
Salah satu aspek penting dalam pengembangan produk bioteknologi kesehatan adalah pembuatan hormon manusia. Sebelum era bioteknologi, insulin diperoleh dari hewan ternak seperti sapi dan babi. Namun, cara ini memiliki kelemahan yaitu memungkinkan timbulnya alergi dan hasil produksi insulin yang terbatas (Ambarwati dan Susianawati, 2006). Namun, dengan pendekatan bioteknologi, insulin dapat diperoleh dengan cara memproduksi di mikroorganisme (*Escherichia coli*).

Insulin adalah hormon pertama yang ditemukan pada akhir tahun 1920 di Kanada oleh Sir Frederick Grant Banting dan Charles Herbert Best. Banting adalah ilmuwan medis berkebangsaan Kanada. Ia lahir pada tanggal 14 November 1891 di Allisto~ Ontario. Setelah menyelesaikan studi mengenai pengobatan di Universitas Toronto, ia membantu Pasukan Medis Tentara Kanada selama Perang Dunia I. Ketika perang berakhir, Banting kembali ke Kanada dan mengajar di Universitas Toronto. Ia dibantu oleh asistennya yang bernama Charles Herbert Best atau lebih dikenal dengan Best. Best lahir pada tanggal 27 Februari 1899 di West Pembroke, Maine, Amerika dari orang tua berkebangsaan Kanada. Pada usia 22 tahun, ia bekerja sebagai asisten Banting dan mempunyai peranan penting dalam penemuan hormon insulin sehingga namanya juga tercatat sebagai penerima Nobel dalam bidang obat-obatan.

Pada Oktober 1920, Banting dan Best berhasil menemukan insulin dengan cara mengikatkan benang di sekeliling saluran pankreas pada sepuluh ekor anjing. Ketika mereka memeriksa saluran pankreas tersebut beberapa minggu kemudian, semua sel pencernaan pada pankreas telah

menghilang (mati dan diserap oleh sistem imunitas atau sistem kekebalan) dan yang tertinggal hanyalah ratusan islet. Kemudian mereka mengisolasi protein dari islet-islet tersebut dan menemukan insulin.

Penemuan lain yang dibuat di bidang kesehatan adalah teknologi DNA rekombinan, yang telah sepenuhnya merevolusi perawatan penyakit terutama pada Tipe 1 diabetes melitus, sel-sel penghasil insulin menjadi disfungsi dan tidak menghasilkan jumlah insulin yang cukup untuk mengatur kadar gula darah. Pada manusia yang sehat, insulin mengatur metabolisme glukosa dalam tubuh. Dalam kondisi diabetes, tingkat insulin menurun yang menyebabkan peningkatan kadar gula darah dan kondisi klinis ini dikenal sebagai diabetes melitus. Salah satu perawatan terbaik diabetes melitus adalah suntikan insulin, insulin disuntikkan ke tubuh pasien dan insulin mengatur tingkat pengisap darah. Insulin disintesis secara kimia atau diproduksi oleh DNA rekombinan Teknologi. Insulin sintesis ini digunakan secara kesehatan untuk mengobati pasien dengan Tipe 1 diabetes melitus, sedangkan pasien diabetes melitus Tipe 2 tahan insulin.



10.4 Pembuatan insulin manusia dengan teknologi DNA rekombinan(Khan,2014) .

Namun, beberapa pasien dengan diabetes tipe 2 memerlukan pengobatan insulin jika obat lain gagal mengontrol kadar glukosa darah secara memadai, meskipun hal ini jarang terjadi. Dengan munculnya teknologi DNA rekombinan, menjadi mungkin untuk membuat insulin di luar tubuh manusia dan insulin biosintetik ini sekarang diproduksi untuk penggunaan klinis yang luas. Baru-baru ini, para ilmuwan telah berhasil

memasukkan gen insulin manusia ke dalam tumbuhan untuk menghasilkan insulin manusia pada tumbuhan, dan tumbuhan *safflower* telah digunakan untuk tujuan ini. Selain teknologi DNA rekombinan, ada cara lain untuk mensintesis insulin manusia di luar tubuh manusia dan biasanya disebut sebagai analog insulin dan analog ini disintesis secara kimiawi (Gambar 10.4). Salah satu kendala utama dalam pengobatan diabetes adalah pemberian insulin, karena insulin tidak dapat dikonsumsi secara oral karena tidak akan diserap dengan baik dan akan kehilangan aktivitas biologisnya. Dalam beberapa tahun terakhir, upaya telah dilakukan untuk mengembangkan insulin yang dapat diberikan dengan aman melalui jalur oral atau *sublingual*.

D. VAKSIN

Vaksin merupakan produk bioteknologi yang terus dikembangkan baik vaksin untuk manusia ataupun ternak. Vaksin merupakan bahan antigenik yang digunakan untuk kekebalan terhadap suatu penyakit yang biasanya mengandung virus atau mikroorganisme yang telah dimatikan atau dilemahkan (Melief et al., 2015). Pemberian vaksin (imunisasi) di Indonesia telah diselenggarakan pada tahun 1956 dan mengalami perkembangan serta perluasan pada tahun 1977 dalam rangka pencegahan penularan beberapa penyakit (Menteri Kesehatan, 2017). Vaksin berguna untuk membentuk kekebalan spesifik secara aktif terhadap penyakit tertentu. Vaksin pertama kali ditemukan pada tahun 1796 oleh Edward Jenner yaitu vaksin virus cacar. Sejak saat itu teknologi pembuatan vaksin telah berkembang dengan pesat dan berbagai jenis vaksin untuk mencegah penyakit infeksi telah banyak digunakan. Vaksin konvensional baik vaksin generasi pertama yaitu vaksin yang mengandung mikroorganisme hidup yang telah dilemahkan dan vaksin generasi kedua yaitu vaksin yang mengandung mikroorganisme yang dimatikan, serta vaksin generasi yang ketiga yaitu vaksin rekombinan yang juga dikenal dengan vaksin sub unit yang mengandung fragmen antigenik dari suatu mikroorganisme yang dapat merangsang respon imun, dalam penggunaannya masih memiliki beberapa kelemahan.

Vaksin generasi pertama sering kali dapat bermutasi kembali menjadi virulen sehingga menimbulkan efek yang tidak diinginkan. Oleh sebab itu biasanya jenis vaksin yang dilemahkan ini tidak dianjurkan diberikan kepada

penderita yang mengalami *imunokompromais*. Sedangkan vaksin generasi kedua adalah vaksin mengandung mikroorganisme yang dimatikan menggunakan zat kimia tertentu, biasanya dengan menggunakan formalin atau fenol, dalam penggunaannya sering mengalami kegagalan atau tidak menimbulkan respon imun tubuh. Untuk mengatasi berbagai kelemahan yang terjadi pada penggunaan vaksin generasi pertama dan kedua mulailah dikembangkan vaksin generasi yang ketiga yaitu vaksin rekombinan yang juga dikenal dengan vaksin sub unit.

Vaksin sub unit dibuat melalui teknik rekayasa genetika untuk memperoleh fragmen antigenik dari mikroorganisme, sehingga disebut dengan vaksin rekombinan. Sebagai contoh, vaksin hepatitis B mengandung bagian protein selubung dari virus hepatitis B yang diproduksi melalui rekayasa genetika, oleh sel ragi. Vaksin rekombinan lebih aman dibandingkan dengan vaksin yang mengandung seluruh sel virus, karena fragmen antigenik yang terdapat dalam vaksin rekombinan tidak dapat bereproduksi dalam tubuh penerima, di samping itu vaksin rekombinan umumnya tidak menimbulkan efek samping. Namun demikian vaksin generasi ketiga ini pun ternyata hanya dapat menimbulkan respon imun humoral dan tidak dapat menimbulkan respon imun seluler. Pembuatan vaksin dapat dilihat pada gambar 10.5



10.5 Pembuatan vaksin manusia dengan teknologi DNA rekombinan (Khan,2014)

Berbagai penelitian telah dilakukan untuk mempelajari berbagai faktor yang mempengaruhi efisiensi dan sifat imunogenisitas dari DNA plasmid, yang pada akhirnya dikenal dengan vaksin DNA untuk memberikan imunitas tubuh terhadap serangan berbagai mikroorganisme. Sampai saat ini berbagai hasil penelitian telah dipublikasikan bahwa imunisasi dengan DNA

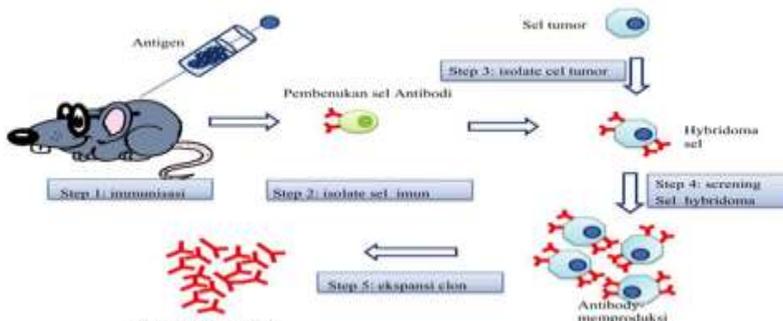
dapat menghasilkan protein asing atau antigen yang dapat menstimulasi respon imun, sehingga dapat mencegah berbagai penyakit infeksi pada binatang percobaan antara lain terhadap *Human immunodeficiency virus* (HIV) (virus Ebola malaria *Mycobacterium tuberculosis*, virus influenza, atau untuk meningkatkan sistem imunitas terhadap sel-sel tumor .

E. ANTIBODI MONOKLONAL

Antibodi adalah bagian pertahanan tubuh yang digunakan untuk menghilangkan atau mengurangi zat asing yang masuk ke dalam tubuh. Mekanisme kerja antibodi dalam tubuh dimulai dengan diikatnya epitope (bagian antigen) oleh antibodi. Ikatan ini akan membentuk kompleks antigen-antibodi yang berukuran besar dan akhirnya mengendap. Kompleks antigen-antibodi ini juga dapat dikenali oleh sel makrofag, yang akan mendegradasi kompleks ini.

Pada perkembangannya antibodi banyak digunakan sebagai alat deteksi di bidang klinis dan *biomedisinal*. Deteksi ini dapat berupa deteksi protein atau deteksi mikroorganisme. Sebagai contoh penentuan golongan darah, penentuan jumlah mikroorganisme menggunakan ELISA (*Enzyme Linked Immunosorbent Assay*) atau penentuan ukuran protein menggunakan teknik western blot. Secara umum tahap pertama deteksi menggunakan antibodi adalah dengan mengikatkan *epitope* yang akan di deteksi dengan antibodi. Hal ini mengharuskan antibodi yang digunakan mampu mengenali *epitope* secara spesifik. Antibodi yang dapat mengenali lebih dari satu macam *epitope* dari dua antigen yang berbeda dapat menimbulkan kesalahan deteksi positif. Selama ini antibodi yang sering digunakan dalam deteksi adalah antibodi *poliklonal*. Pada larutan antibodi ini terdapat bermacam-macam molekul antibodi. Satu molekul antibodi, biasanya mengenali satu macam *epitope*, sehingga antibodi *poliklonal* mengenali lebih dari satu macam *epitope* (Hanly, et.al, 1995). Hal ini menyebabkan antibodi *poliklonal* kurang spesifik jika digunakan sebagai alat deteksi. Masalah ketidak spesifikan pada poliklonal antibodi diatasi menggunakan *antibody monoclonal*, jenis antibodi yang merupakan pengembangan *poliklonal* antibodi. Antibodi *monoklonal*, hanya mengandung satu macam molekul antibodi, sehingga larutan ini hanya mengenali satu macam antigen (Grimaldi dan French, 1995).

Antibodi monoklonal merupakan antibodi spesifik-mono karena dibuat oleh sel identik yang semuanya merupakan klon dari sel induk yang berbeda (Gambar 10.6)



Gambar 10.6 Pembuatan antibody monoklonal(Khan,2014)

Dalam penelitian diagnostik dan biomedis, antibodi monoklonal adalah alat yang sangat berguna. Pertama, sangat spesifik; yaitu, setiap antibodi mengikat situs spesifik antigen. Kedua, beberapa antibodi, setelah diaktifkan suatu penyakit, terus berlanjut memberikan perlawanan terhadap penyakit itu; contoh klasik adalah antibodi terhadap masa kanak-kanak, penyakit cacar air dan campak. Aplikasi penting lain dari antibodi *monoklonal* berupa mengembangkan vaksin untuk melawan berbagai penyakit. Seperti yang diketahui, vaksin dibuat dari bakteri atau virus baik yang dimatikan atau dinonaktifkan. Saat diperkenalkan ke manusia Tubuh vaksin ini merangsang produksi antibodi untuk melawan antigen mendukung penyakit. Produksi antibodi *monoklonal* melibatkan manusia dan tikus sel *hybrid* dan teknologi ini dikenal sebagai teknologi *hybridoma*. Selama *monoklonal* produksi antibodi, sel tumor bergabung dengan sel mamalia yang menghasilkan antibodi terhadap antigen tertentu. Hasil dari tumor ini digabungkan dengan mamalia sel disebut *hibridoma*, yang sering kali dapat menghasilkan antibodi. Antibodi ini adalah disebut antibodi *monoklonal* karena hanya berasal dari satu jenis sel; sedangkan antibodi yang diproduksi dengan metode konvensional mengandung banyak jenis sel disebut antibodi *poliklonal*.

Antibodi monoklonal sangat spesifik ketika digunakan sebagai alat deteksi. Namun terdapat beberapa kendala teknis dalam penyiapan monoklonal antibodi ini. Laboratorium kultur sel mamalia untuk pembuatan hibridoma penghasil monoklonal antibodi, memerlukan peralatan yang rumit dan keterampilan tinggi. Namun masalah utama pada penyiapan monoklonal antibodi adalah pada saat seleksi sel hibridoma. Sel hibridoma disiapkan dengan melakukan fusi sel B dari bagian limpa hewan yang diimunisasi dengan sel kanker (Karu et.al, 1995). Sementara itu hewan yang diimunisasi dengan satu macam antigen mampu menghasilkan 6×10^6 sel B yang berbeda. Satu macam sel B akan menghasilkan satu macam antibodi. Pada saat dilakukan fusi sel B, akan didapatkan 6×10^6 sel hibridoma yang berbeda (Harlow dan Lane, 1988). Pada pembuatan monoklonal antibodi, harus diseleksi satu macam hibridoma dari sejumlah hibridoma tersebut. Hal ini merupakan pekerjaan yang sulit dan memakan waktu lama. Kesulitan pembuatan monoklonal antibodi di atas, menimbulkan usaha kembali untuk mendapatkan jenis antibodi baru yang spesifik dengan cara yang lebih mudah. Harapan didapatkannya antibodi seperti ini muncul ketika keseluruhan struktur antibodi (khususnya IgG) telah selesai dipelajari dan ditemukannya teknik PCR. Antibodi baru yang didapat sering kali disebut antibodi rekombinan.

F. REKAYASA GENETIKA

Rekayasa genetik merupakan kumpulan teknik-teknik eksperimental yang memungkinkan peneliti untuk mengisolasi, mengidentifikasi, dan melipatgandakan suatu fragmen dari materi genetika (DNA) dalam bentuk murninya. Rekayasa genetik merupakan kumpulan teknik-teknik eksperimental yang memungkinkan peneliti untuk mengisolasi, mengidentifikasi, dan melipatgandakan suatu fragmen dari materi genetika (DNA) dalam bentuk murninya. Untuk tujuan ini dapat dilakukan melalui pengklonan atau pemindahan gen-gen penyandi sifat-sifat ekonomis penting pada hewan maupun tumbuhan, pemanfaatan klon-klon DNA sebagai marker (penanda) di dalam membantu meningkatkan efisiensi seleksi dalam program pemuliaan (Sutarno, 2002).

Rekayasa genetika merupakan dasar dari bioteknologi yang di dalamnya meliputi manipulasi gen, kloning gen, DNA rekombinan, teknologi modifikasi genetik, dan genetika modern dengan menggunakan prosedur identifikasi, replikasi, modifikasi dan transfer materi genetik dari sel, jaringan, maupun organ. Sebagian besar teknik yang dilakukan adalah memanipulasi langsung DNA dengan orientasi pada ekspresi gen tertentu. Dalam skala yang lebih luas, rekayasa genetik melibatkan penanda atau marker yang sering disebut sebagai *Marker-Assisted Selection* (MAS) yang bertujuan meningkatkan efisiensi suatu organisme berdasarkan informasi fenotipnya. Salah satu aplikasi dari rekayasa genetik berupa manipulasi genom hewan. Hewan yang sering digunakan menjadi uji coba penelitian yaitu mamalia. Mamalia memiliki ukuran genom yang lebih besar dan kompleks dibandingkan dengan virus, bakteri, dan tanaman. Konsekuensinya, untuk memodifikasi genetik dari hewan mamalia harus menggunakan teknik genetika molekular dan teknologi rekombinan DNA. Keunggulan rekayasa genetik yaitu mampu memindahkan materi genetik dari sumber yang sangat beragam dengan ketepatan tinggi dan terkontrol dalam waktu yang lebih singkat. Melalui proses rekayasa genetika, berhasil dikembangkan berbagai organisme maupun produk yang menguntungkan bagi kehidupan manusia. Teknologi khusus yang digunakan dalam rekayasa genetik meliputi teknologi DNA Rekombinan yaitu pembentukan kombinasi materi genetik yang baru dengan cara penyisipan molekul DNA ke dalam suatu vektor sehingga memungkinkannya untuk terintegrasi dan mengalami perbanyakan di dalam suatu sel organisme lain yang berperan sebagai sel inang (Sutarno, 2015).

Keunggulan rekayasa genetik yaitu mampu memindahkan materi genetik dari sumber yang sangat beragam dengan ketepatan tinggi dan terkontrol dalam waktu yang lebih singkat. Melalui proses rekayasa genetika ini, telah berhasil dikembangkan berbagai organisme maupun produk yang menguntungkan bagi kehidupan manusia. Teknologi khusus yang digunakan dalam rekayasa genetik meliputi teknologi DNA Rekombinan yaitu pembentukan kombinasi materi genetik yang baru dengan cara penyisipan molekul DNA ke dalam suatu vektor sehingga memungkinkannya untuk terintegrasi dan mengalami perbanyakan di

dalam suatu sel organisme lain yang berperan sebagai sel inang (Sutarno, 2002).

Metode yang sering digunakan dalam teknik rekayasa genetika meliputi penggunaan vektor, kloning, PCR (*Polymerase Chain Reaction*), dan seleksi, *screening*, serta analisis rekombinan. Adapun langkah-langkah dari rekombinasi genetik meliputi:

1. Identifikasi gen yang diharapkan;
2. Pengenalan kode DNA terhadap gen yang diharapkan;
3. Pengaturan ekspresi gen yang sudah direkayasa; dan
4. Pemantauan transmisi gen terhadap keturunannya.

Memodifikasi materi genetik pada bidang Sains dan Kedokteran Hewan secara genetika sudah dimodifikasi atau dikenal dengan istilah *Genetically Modified Animal* (GMA) seperti pada hewan uji yakni mencit dapat digunakan untuk penelitian bagaimana fungsi yang ada pada hewan. Di samping itu juga digunakan untuk memahami dan mengembangkan perlakuan pada penyakit baik pada manusia maupun hewan. Modifikasi materi genetik dapat digunakan dalam Pengobatan Penyakit. Beberapa penelitian telah menggunakan protein pada manusia untuk mengobati penyakit tertentu dengan cara mentransfer gen manusia ke dalam gen hewan, misalnya domba atau sapi. Selanjutnya hewan tersebut akan menghasilkan susu yang memiliki protein dari gen manusia yang akan digunakan untuk penyembuhan pada manusia (Sutarno, 2015).

G. RANGKUMAN MATERI

Produk bioteknologi yang dimanfaatkan dalam bidang kesehatan salah satunya dihasilkan senyawa antibiotik yang dapat menghambat bakteri patogen. Bioteknologi dalam bidang kesehatan memberikan kesempatan dalam pemecahan masalah yaitu mendiagnosa, mencegah, serta mengobati berbagai penyakit termasuk penyakit genetik. Produk bioteknologi yang dimanfaatkan dalam bidang kesehatan salah satunya dihasilkan senyawa antibiotik yang dapat menghambat bakteri patogen. Antibiotik adalah substansi kimiawi yang umumnya digunakan untuk mengobati infeksi oleh bakteri. Selain antibiotik, produk bioteknologi yang berupa antibodi monoklonal dapat membantu mendiagnosa suatu penyakit. Saat ini vaksin merupakan produk bioteknologi yang terus dikembangkan.

Vaksin merupakan bahan antigenik yang digunakan untuk kekebalan terhadap suatu penyakit yang biasanya mengandung virus atau mikroorganisme yang telah dimatikan atau dilemahkan. Rekayasa genetika merupakan dasar dari bioteknologi yang di dalamnya meliputi manipulasi gen, kloning gen, DNA rekombinan, teknologi modifikasi genetik, dan genetika modern dengan menggunakan prosedur identifikasi, replikasi, modifikasi dan transfer materi genetik dari sel, jaringan, maupun organ. Keunggulan rekayasa genetik yaitu mampu memindahkan materi genetik dari sumber yang sangat beragam dengan ketepatan tinggi dan terkontrol dalam waktu yang lebih singkat. Melalui proses rekayasa genetika ini, telah berhasil dikembangkan berbagai organisme maupun produk yang menguntungkan bagi kehidupan manusia.

TUGAS DAN EVALUASI

1. Vaksin merupakan sejenis produk biologis yang mengandung unsur antigen berupa virus atau mikroorganisme yang sudah mati atau sudah dilemahkan dan juga berupa toksin mikroorganisme yang telah diolah menjadi toksid atau protein rekombinan yang sudah ditambahkan dengan zat lainnya. Jelaskan bagaimana pembuatan vaksin?
2. Uraikan pemanfaatan Rekayasa Genetik dalam bidang kesehatan?
3. Produk bioteknologi yang dimanfaatkan dalam bidang kesehatan salah satunya dihasilkan insulin uraikan pembuatan insulin manusia dengan teknologi DNA rekombinan?
4. Jelaskan perbedaan antara antibody monoclonal dengan antibody poliklonal?
5. Jelaskan keunggulan dari rekayasa genetika!

DAFTAR PUSTAKA

- Ambarwati & Susianawati, N. (2006). Kemajuan IPTEK untuk Kemaslahatan Umat. SUHUF. Vol. 18 No. 2, 156-165.
- Grimaldi, C.M. dan French, D.L., Monoclonal Antibodies by Somatic Cell Fusion,), ILAR Journal, Institute of Laboratory Animal Resources, Washington, D.C., 1995.
- Firdos Alam Khan. 2014. Biotechnology In Medical Sciences. ISBN 13: 978-1-4822-2368-2. CRC Press. London. New York
- Karu,E.A., Bell, C.W., Chin, T.E., Recombinant Antibody Technology, ILAR Journal, Institute of Laboratory Animal Resources, Washington, D.C., 1995.
- Kementerian Kesehatan RI. (2018). Indonesia Jadi Center of Excelent: Momentum Baru Bagi Negara-Negara Islam Dalam Pengembangan Vaksin dan Produk Bioteknologi. www.depkes.go.id/article/view/18051500002/indonesia-jadi-center-of-excelent-momentum-baru-bagi-negera-negara-islam-dalam-pengembangan-vaksin-d.html
- Melief, C. J. M., Hall, T. V., Arens, R., Ossendorv, F., Van Der Burg, S. H. (2015). Therapeutic cancer, Faccines. J Clin invest. Vol. 125 No. 9, 3401-3412.
- Harlow, E.D., dan Lane D., Antibodies: A Laboratory Manual, Cold Spring Harbour, U.S.A., 1998. Karu,E.A., Bell, C.W., Chin, T.E., Recombinant Antibody Technology, ILAR Journal, Institute of Laboratory Animal Resources, Washington, D.C., 1995.
- Hanly, W.C., Arthwol, J.E., dan Bennet, B.T., Review of Polyclonal Antibody Production in Mammals and Poultry ILAR Journal, Institute of Laboratory Animal Resources, Washington, D.C.,1995.
- Production in Mammals and Poultry ILAR Journal, Institute of Laboratory Animal Resources, Washington, D.C.,1995.
- Prentis, S. (1984). Biotechnology, A New Industrial revolution. London: Orbis Pulishing.
- Sutarno, Cummins, J.M., Greeff, J., Lymbery, A.J. (2002). Mitochondrial DNA polymorphisms and fertility in beef cattle. Theriogenology, an International Journal of Animal Reproduction 57: 1603-1610.

Sutarno (2015). Genetika Non-Mendel. DNA mitokondria dan perannya dalam produksi hewan dan kelainan pada manusia. ISBN no 978-979-498-872-5. UNS Press, Solo.

BAB
11

BIOTEKNOLOGI DALAM BIDANG SUMBER DAYA ENERGI

Dr. Sri Kurniati A., ST, MT¹
Dr. Sudirman Syam, ST, MT²
Universitas Nusa Cendana

A. PENDAHULUAN

Ketergantungan yang tinggi terhadap sumber energi fosil dipandang sebagai masalah fundamental sistem energi global maupun nasional. Produksi sumber energi fosil tidak terbarukan dipastikan akan menurun dan habis pada suatu saat sehingga tidak dapat diandalkan. Ketergantungan tinggi pada sumber energi fosil akan menyebabkan ancaman pada ketersediaan energi sebagai salah satu pilar utama ketahanan energi global maupun nasional. Data PBB menunjukkan bahwa pangsa sumber energi fosil (batu bara, minyak bumi, gas bumi) cenderung menurun dari 83,5 persen pada 1990 menjadi 82,3 persen pada tahun. Penurunan peran energi fosil diisi oleh *biofuel* dan sampah yang meningkat dari 7,7 persen pada 1990 menjadi 9,2 persen pada 2015. Bauran energi Indonesia pun sangat didominasi oleh bahan bakar fosil. Dominasi bahan bakar fosil dalam bauran energi Indonesia pada 2015 mencapai 95 persen yang berarti lebih tinggi daripada dalam bauran energi global. Kebijakan energi nasional

sebagaimana dijabarkan dalam Rencana Umum Energi Nasional (RUEN, 2017) telah menetapkan untuk meningkatkan peran energi terbarukan paling sedikit 23 persen pada 2025 dan meningkat menjadi 31 persen pada 2050.

Mengingat kemampuan produksi minyak nasional yang terus berkurang diiringi dengan meningkatnya konsumsi minyak nasional, maka pemanfaatan energi alternatif dari sumber yang terbarukan merupakan kebutuhan yang mendesak. Salah satu potensi sumber daya terbarukan adalah pemanfaatan minyak nabati sebagai energi *biofuel* berupa *biodiesel*, dan *bioetanol* sebagai pengganti minyak diesel, dan bensin. Masalah penggunaan minyak nabati secara langsung ini dapat dipecahkan baik dengan mengadaptasi mesin terhadap bahan bakar atau mengadaptasi sifat bahan bakar terhadap mesin. Adaptasi bahan bakar terhadap mesin dilakukan antara lain melalui reaksi *transesterifikasi* minyak yang berasal dari bahan baku terbarukan, seperti minyak nabati atau lemak hewan, dengan metanol sehingga dihasilkan metil ester asam lemak atau dikenal dengan biodiesel yang memiliki viskositas yang rendah karena adanya pemisahan dengan gliserol. Biodiesel merupakan bahan bakar dengan pembakaran yang bersih, dapat diurai secara biologis, tidak beracun dan memiliki emisi rendah. Kondisi seperti ini memberikan keuntungan terhadap lingkungan, dimana penggunaan biodiesel memiliki potensi mengurangi tingkat polusi. Tanaman dimana biodiesel itu berasal banyak menyerap karbon dari atmosfer selama fotosintesisnya sehingga secara esensial mengurangi karbondioksida dari atmosfer.

Akan tetapi, biaya produksi biodiesel yang tinggi merupakan salah satu pertimbangan utama untuk komersialisasi skala besar. Metode-metode untuk mengurangi biaya produksi biodiesel mesti dieksplorasi dalam penelitian produksi biodiesel atau minyak lain agar ia dapat bersaing dengan minyak diesel. Pada awal peradaban, sumber energi utama ialah bahan *biofuel* tradisional melalui pembakaran kayu dan bahan organik lainnya. Metode ini dianggap kurang efisien dan membutuhkan waktu yang cukup lama. Adanya perkembangan teknologi memunculkan beberapa metode pengolahan biodiesel seperti pemanasan *hotplate* yang dianggap masih konvensional. Kemudian ditemukan teknologi *microwave* dan ultrasonik yang dapat mempercepat pengolahan biodiesel dengan biaya

yang lebih murah. Perkembangan terbaru telah ditemukan metode dengan radiasi elektromagnetik yang dapat memperbaiki metode *microwave* dan ultrasonik baik dari segi waktu yang lebih cepat maupun biaya operasional yang lebih murah. Mengenai perkembangan teknologi pengolahan biodiesel ini akan diuraikan pada bagian akhir dari materi ini.

B. SEKILAS KONVERSI ENERGI TERBARUKAN

Krisis energi dunia yang terjadi pada tahun 1974 menyebabkan melonjaknya harga minyak bumi, dan mendorong penduduk dunia untuk mengalihkan sumber energinya ke energi terbarukan. Di sisi lain energi sangat dibutuhkan oleh semua lapisan masyarakat dalam menjalankan kehidupannya baik untuk keperluan transportasi, industri dan rumah tangga. Pencarian sumber energi alternatif merupakan hal yang sangat penting, beberapa jenis sumber energi alternatif yang dikembangkan antara lain: energi angin, energi tenaga matahari, energi panas bumi, energi panas laut atau OTEC (*Ocean Thermal Energy Conversion*), dan energi biomassa (Adan, 1998; Tjokrowisastro, 1990). Kekayaan alam Indonesia menjadi pertimbangan utama konversi energi minyak dan gas ke biomassa. Indonesia merupakan negara agraris terbesar yang akan mampu memasok sumber bahan baku biomassa, baik dari budidaya hayati maupun limbah pertanian, peternakan, dan perkebunan (Syafii, 2003, Pramudono, 2007).

Sampai saat ini minyak bumi merupakan sumber energi utama yang dipakai di seluruh dunia dan kebutuhan dunia akan minyak bumi telah mencapai 10.000 juta ton pertahunnya. Eksploitasi secara berlebihan dan berkepanjangan mengakibatkan cadangan minyak bumi terus berkurang dan harganya juga ikut meningkat dari waktu ke waktu. Sementara *Automotive Diesel Oil* (ADO) memprediksi bahwa apabila dalam waktu dekat tidak ada lagi sumber-sumber baru minyak bumi yang ditemukan, maka dalam waktu 10-15 tahun ke depan cadangan minyak bumi, khususnya di Indonesia dipastikan akan habis. Jika cadangan minyak bumi menipis akan mengakibatkan krisis energi dan ekonomi secara global, termasuk Indonesia juga akan merasakannya, gejalanya adalah seperti yang pernah dialami Indonesia pada tahun 2004.

Defisit bahan bakar yang cukup parah pada waktu itu memaksa pemerintah Indonesia harus membuka kran impor Bahan Bakar Minyak (BBM) dari luar negeri secara besar-besaran. Impor BBM tersebut sangat membebani APBN, sebagai akibatnya pemerintah sejak tahun 2005 beberapa kali harus mengeluarkan kebijakan menaikkan harga BBM. Kebijakan itu benar-benar berdampak buruk untuk sebagian besar rakyat Indonesia yang mayoritas dari golongan ekonomi menengah ke bawah. Jika kenaikan harga BBM tidak terkendali, maka dapat dipastikan akan terjadi kerawanan ekonomi, politik dan sosial yang pada gilirannya akan mencetuskan kerusuhan massal dan konflik di mana-mana.

Mengingat krisis energi yang pernah terjadi, maka pemerintah dan rakyat mulai sekarang harus secara bersama-sama berupaya keras mencari solusi, misalnya melakukan eksplorasi sumur-sumur baru atau mencari bahan bakar alternatif yang terbarukan sebagai pengganti bahan bakar fosil yang tidak abadi sehingga di masa-masa datang pasokan energi yang berkesinambungan dapat tetap terjamin. Di antara sekian banyak sumber energi alternatif terbarukan, *biofuel* atau Bahan Bakar Nabati (BBN) merupakan sumber energi yang paling menjanjikan sebagai substitusi BBM fosil. *Biofuel* adalah bahan bakar yang berasal dari hasil pengolahan biomassa, oleh karena itu *biofuel* sering disebut pula energi hijau karena emisi karbonnya yang bersifat ramah lingkungan dan tidak menyebabkan peningkatan pemanasan global secara signifikan.

Biofuel yang populer dewasa ini adalah biodiesel dan bioetanol. Biodiesel diperuntukkan bagi mesin diesel, diperoleh dari hasil *esterifikasi-transesterifikasi* atau *transesterifikasi* langsung minyak atau lemak, sedangkan *bioethanol* sebagai aditif atau substitusi premium dibuat dari proses hidrolisis, fermentasi dan distilasi biomassa berpati. Teknologi pengolahan biomassa menjadi biodiesel dan *bioetanol* tergolong mudah (*low technology*), begitu pula dengan *production cost* nya yang relatif rendah sehingga konversi biomassa menjadi biodiesel dan *bioetanol* dapat diterapkan sebagai pengganti bahan bakar minyak diesel / solar.

Sebagai negara yang pernah merasakan krisis energi dan menyadari dampak buruk emisi BBM fosil, Indonesia telah melakukan langkah-langkah konkrit baik berupa kebijakan maupun tindakan nyata di lapangan, walaupun untuk langkah yang terakhir masih mengalami banyak kendala.

Tabel 11.1 menunjukkan *roadmap* penggunaan *biofuel* dari tahun 2015 – 2030. Kebutuhan akan *biofuel* yang sangat besar ini akan menjadi tantangan bagi pemerintah, masyarakat, pengguna energi dan pemangku kepentingan lain, khususnya dari sektor pertanian, yaitu bahwa mereka tidak hanya akan memproduksi bahan makanan, namun juga harus memproduksi energi serta mengatur tata niaganya. Bagi masyarakat peningkatan porsi pemakaian *biofuel* ini harus dibarengi pula dengan peningkatan kesadaran tentang arti penting dan peranan *biofuel*, yaitu sebagai substitusi BBM fosil yang ramah lingkungan murah berunjuk kerja tinggi dan terbarukan.

Tabel 11.1 Roadmap Pengembangan Biofuel

Uraian	2015	2016	2020	2025	2030
BIODIESEL					
Target KEN Biofuel (juta kl)	6,78	-	10,17	20,34	24,86
Target mandatory (juta)	4,31	8,34	15,66	22,41	32,53
	(B10)	(B20)	(B30)	(B30)	(B30)
Bahan baku	Sawit	Sawit	Sawit, Kemiri, Sunan, Kelapa	Sawit, Kemiri, Sunan, Kelapa	Sawit, Kemiri, Sunan, Kelapa
BIOETHANOL					
Target KEN Biofuel (juta kl)	6,78	-	10,17	20,34	24,86
Target mandatory (juta)	0,34	0,74	2,47	14,12	20,75
Bahan baku	Molase, tebu, singkong	Molase, tebu, singkong	Molase, tebu, singkong, sorgum	Molase, tebu, singkong, sorgum manis, jerami	Molase, tebu, singkong, sorgum ma-

			manis, jerami padi, tongkol batang ja- gung, sagu, nipah	padi, tongkol dan batang jagung, sagu, nipah, limbah biomassa	nis, jerami padi, tongkol dan batang jagung, sagu, ni- pah, limbah bio-massa
--	--	--	--	--	---

(Anonim, 2015)

C. PENGEMBANGAN BAHAN BAKAR NABATI

1. Umum

Bahan dari pertanian non-pangan untuk *biofuel* meliputi semua hasil dari pertanian yang dapat dijadikan bahan untuk pembuatan *biofuel* yakni biodiesel atau B100 dan *bioetanol* atau E100, namun tidak mencakup bahan untuk pembuatan pangan (jenis pangan langsung) seperti biji-bijian (beras, jagung, kedelai, kacang hijau, dll) serta umbi (ubi kayu, ubi jalar, dll). Artinya, bahan untuk *biofuel* meliputi limbah padat atau biomassa padat dari pertanian, seperti misalnya tongkol jagung, jerami padi, tandan kosong kelapa sawit, limbah tanaman, kayu sisa tebangan, dan lain-lain. Selain itu bahan pertanian non pangan juga meliputi bahan dari hasil utama tanaman minyak nabati yang tidak dapat digunakan sebagai bahan minyak goreng atau sejenisnya dan juga cairan tanaman palma hasil deres, seperti legen/nira kelapa, nira aren dan tanaman palma lainnya yang biasa digunakan untuk bahan pembuatan gula rakyat (gula merah, gula aren, dll). Bahan-bahan ini merupakan penghasil minyak nabati antara lain tanaman kemiri sunan, nyamplung, dan bintang.

Tabel 11.2 Skenario produksi nasional energi primer terbarukan 2015- 2050

No.	Komponen	2015	2020	2025	2050
Sumber energi:					
A	Bioenergi	10,4 (51,5)	19,1 (49,6)	33,8 (36,6)	124,2 (39,3)
B	Lainnya	9,9 (49,5)	19,1 (50,4)	58,4 (63,4)	291,5 (60,7)

Total		20,3 (100)	38,5 (100)	92,2 (100)	315,7 (100)
Bentuk energi:					
A	Listrik	11,6 (74,3)	23,3 (60,5)	69,2 (75,1)	236,3 (74,8)
B	Bahan bakar minyak	8,7 (25,7)	15,2 (39,5)	23,0 (24,9)	79,4 (25,2)

Sumber: RUEN (2017)

Pemerintah melalui Peraturan Presiden No.5 tahun 2006 mengeluarkan kebijakan energi nasional. Kebijakan ini bertujuan untuk mewujudkan keamanan pasokan energi dalam negeri. Kebijakan utama meliputi penyediaan energi yang optimal, pemanfaatan energi yang efisien, penetapan harga energi ke arah harga keekonomian dan pelestarian lingkungan. Kebijakan ini juga memuat target skenario produksi nasional energi primer terbarukan 2015- 2050 seperti ditunjukkan dalam Tabel 2. Kebijakan ini diikuti dengan dikeluarkannya Instruksi Presiden No.1 Tahun 2006 tentang penyediaan dan pemanfaatan BBN sebagai bahan bakar lain dan ditindaklanjuti dengan pembentukan Tim Nasional Pengembangan Bahan Bakar Nabati (BBN) untuk Percepatan Pengurangan Kemiskinan dan Pengangguran melalui Keputusan Presiden No. 10 Tahun 2006.

2. Biodiesel

Biodiesel merupakan minyak nabati murni yang diolah dan kemudian digunakan sebagai bahan-bakar diesel yaitu, alkil-ester yang diperoleh dari minyak-nabati atau lemak-hewani, ataupun pencampuran bahan bakar diesel konvensional dengan biodiesel. Sebagai alternatif misalnya, dilakukan pencampuran antara solar dan biodiesel dengan perbandingan antara 95% solar dan 5% biodiesel (B5) hingga 80% solar dan 20% biodiesel (B20). Bahan baku ini dapat berasal dari berbagai jenis tanaman seperti kelapa sawit, jarak pagar, kedelai, kelapa dan nyamplung. Biodiesel merupakan bahan bakar alternatif yang ramah lingkungan karena tidak menimbulkan emisi polutan yang berbahaya terhadap kesehatan. Penggunaan biodiesel sebagai bahan bakar kendaraan bermotor dapat menurunkan emisi bila dibandingkan dengan penggunaan minyak solar. Biodiesel terbuat dari minyak nabati yang berasal dari sumber daya yang

dapat diperbaharui. Pertimbangan lain untuk pengembangan biodiesel adalah makin tingginya harga minyak bumi dan untuk mengurangi emisi gas rumah kaca (GRK).

3. Bioetanol

Bioetanol merupakan *anhydrous* alkohol yang berasal dari fermentasi tetes tebu, singkong, jagung atau sagu. *Bioetanol* dimanfaatkan untuk mengurangi konsumsi premium. E5 merupakan campuran 5% *bioetanol* dengan 95% premium yang telah dipasarkan Pertamina dengan nama dagang *biopremium*. Penggunaan *bioetanol* sampai dengan E15 tidak perlu melakukan modifikasi mesin kendaraan yang sudah ada, tetapi untuk E100 hanya dapat digunakan untuk mobil jenis FFV (flexible fuel vehicle). Bioetanol merupakan energi alternatif yang ramah lingkungan dan makin banyak diproduksi dibanding energi alternatif lain, seperti biodiesel. Produksi bioetanol dunia meningkat seiring dengan gejolak harga minyak

4. Pure Plant Oil (PPO) atau sering disebut bio-oil.

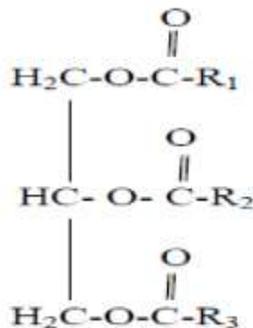
PPO merupakan minyak nabati murni tanpa perubahan sifat kimiawi dan dimanfaatkan secara langsung untuk mengurangi konsumsi solar industri, minyak diesel, minyak tanah dan minyak bakar. O15 merupakan campuran 15% PPO dengan 85% minyak diesel dan dapat digunakan tanpa tambahan peralatan khusus untuk bahan bakar peralatan industri. Pemakaian yang lebih besar dari O15 harus menambah peralatan konverter. Dibandingkan dengan fosil diesel, biasanya PPO memiliki viskositas yang lebih tinggi, densitas (hingga + 10%), dan angka cetane lebih rendah (33-38 versus > 45) dan nilai kalori (36-38 versus 42-43 MJ / kg). Titik kabut juga cenderung lebih tinggi, hingga + 30° C jika dibandingkan dengan solar ringan. Sifat-sifat PPO ini, terutama viskositas tinggi, sangat mempengaruhi karakteristik semprotan bahan bakar di ruang bakar, seperti penetrasi semprotan, sudut semprotan, ukuran dan distribusi tetesan, sementara kontaminan menimbulkan masalah jangka panjang pada injektor, penyimpanan, dll.

D. BODIESEL DARI MINYAK NABATI

1. Minyak dan Lemak

Minyak dan lemak merupakan campuran dari ester-ester asam lemak dengan gliserol yang membentuk gliserol, dan ester-ester tersebut dinamakan trigliserida. Perbedaan antara suatu lemak dan minyak bersifat sembarang. Pada temperatur kamar, lemak berbentuk padat dan minyak bersifat cair. Sebagian gliserida dalam tumbuhan cenderung berupa minyak, karena itu biasa terdengar ungkapan lemak hewani dan minyak nabati (Ketaren, 1986). Lemak dan minyak sering kali ditambahkan ke bahan makanan dengan berbagai tujuan. Berbagai bahan pangan seperti susu, daging, ikan, telur, alpukat, kacang-kacangan, dan berbagai jenis sayuran yang mengandung lemak dan minyak biasanya termakan bersama bahan tersebut, lemak dan minyak ini biasa dikenal dengan sebutan lemak tersembunyi (*invisible fat*), sedangkan minyak dan lemak yang telah diekstraksi dari hewani atau bahan nabati dan dimurnikan dikenal sebagai lemak atau minyak biasa (*visible fat*).

Minyak dengan asam lemak jenuh sulit mengikat gugus fungsi bila dilakukan reaksi substitusi terhadapnya karena mempunyai atom C ikatan tunggal. Minyak dengan asam lemak tak jenuh dapat mengikat gugus fungsi antara lain: gugus asam lemak bebas, gugus lemak, gugus glukosa, gugus gliserol, dan gugus amino sebagai reaksi substitusi terhadapnya karena mempunyai atom C ikatan rangkap dua atau rangkap tiga (Ketaren, 1986). Adapun struktur umum dari trigliserida sebagai berikut:



Gambar 11.1 Struktur Umum dari Trigliserida

“R” adalah metode kimia untuk menyatakan suatu gugus alkil sebagai bagian dari suatu rantai panjang, seperti yang terdapat pada asam lemak. Setiap asam lemak yang tidak terikat pada suatu molekul trigliserida dalam lemak atau minyak disebut dengan Asam Lemak Bebas (ALB).

2. Karakteristik Biodiesel

Biodiesel tidak mempunyai pengertian yang jelas, tetapi biodiesel merupakan minyak nabati murni yang digunakan sebagai bahan bakar diesel yaitu, alkil ester yang dihasilkan dari minyak nabati atau lemak hewani, ataupun pencampuran bahan bakar diesel konvensional dengan minyak nabati atau dengan alkil ester. Sedangkan menurut ASTM (*American Society for Testing and Materials*) biodiesel merupakan mono alkil ester yang mempunyai rantai asam lemak yang panjang yang diturunkan dari lipid dan dapat diperbaharui seperti minyak nabati atau lemak hewani digunakan pada mesin pembakaran dengan tekanan (mesin diesel), (Helzamy, 2004). Biodiesel memiliki keuntungan antara lain:

- Tidak memerlukan energi yang terlalu besar untuk memproduksinya, karena biodiesel dapat direaksikan dengan proses transesterifikasi pada temperatur rendah (<100°C) pada tekanan atmosfer.
- Emisi yang dihasilkan dari pembakaran biodiesel ini rendah bila dibandingkan dengan emisi hasil pembakaran bahan bakar diesel konvensional.
- Produk samping yang dihasilkan dari proses pembuatannya, yaitu gliserol dapat bernilai jual, karena gliserol tersebut merupakan bahan baku pembuatan produk lainnya seperti sabun, deterjen, kosmetika, dan lain sebagainya.
- Biodiesel tingkat keracunannya rendah.
- Biodiesel ini mudah terurai di alam oleh mikroorganisme.
- Biodiesel aman dalam proses penyimpanan, karena memiliki *flash point* yang tinggi.
- Biodiesel merupakan sumber energi yang dapat diperbaharui

Sementara sifat-sifat biodiesel ini dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Flash point untuk biodiesel umumnya tinggi (lebih besar dari 150°C). Alkil ester ini tidak volatile. Batasannya yaitu 100-170°C, dari batasan ini yang paling rendah, yaitu 100°C. Hal ini bertujuan untuk menghilangkan kelebihan alkohol yang ditambahkan selama proses. Dengan adanya alkohol ini dapat menyebabkan kerusakan pada pompa bahan bakar, isian, elastomer, dan dapat menghasilkan daya pembakaran rendah.
2. Uji abu sulfat bertujuan untuk memastikan penghilangan semua katalis yang dimasukkan selama proses. Jika kandungan sisa katalis proses yang masih ada dalam alkil ester tinggi dapat menyebabkan terbentuknya endapan pada injektor atau penyumbatan pada saringan mesin.
3. Bilangan setana menunjukkan cepat tidaknya suatu bahan bakar terbakar dalam mesin. Alkil ester mempunyai bilangan setana yang tinggi bila dibandingkan dengan bahan bakar konvensional.
4. Bilangan gliserin bebas dan total gliserin diukur untuk menunjukkan sempurna tidaknya suatu trigliserida diubah menjadi alkil ester. Jika bilangan ini tinggi dapat menyebabkan kerusakan pada mesin.
5. Bilangan asam diukur untuk melihat tingkat keasaman suatu bahan bakar diesel. Jika bilangan asam ini tinggi, maka akan menyebabkan pengurangan waktu pemakaian pompa bahan bakar dan juga dapat mengurangi waktu pemakaian saringan pada mesin.

Tabel 11.3 Perbandingan antara Biodiesel dan Bahan Bakar Diesel

Sifat-Sifat Bahan Bakar	Diesel	Biodiesel
Standar analisa bahan bakar	ASTM D975	ASTM PS 121
Komposisi bahan bakar	C10-C21 HC	C12-C22 FAME
Lower Heating Value, Btu/gal	131,295	117,093
Viskositas kinematic, pada 40°C	1,3 – 4,1	1,9 – 6
Specific gravity, kg/L pada 60°F	0,85	0,88

Densitas, lb/gal pada 15°C	7,079	7,328
Kandungan air, ppm	161	0,055 maksimum
Kandungan karbon, % berat	87	77
Kandungan hidrogen, % berat	13	12
Kandungan oksigen, % berat	0	11
Kandungan sulfur, % berat	0,05 maksimum	0,0 – 0,024
Titik didih, °C	188 – 343	182 – 338
Flash point, °C	60 – 80	100 – 170
Cloud point, °C	-15 sampai 5	-3 sampai 12
Pour point, °C	-35 sampai -15	-15 sampai 10
Bilangan setana	40 – 55	48 – 65
Perbandingan stoikiometri udara terhadap bahan bakar, berat	15	13,8

Biodiesel ini dapat langsung digunakan pada mesin diesel tanpa memerlukan modifikasi mesin, karena biodiesel ini mempunyai sifat fisik dan sifat kimia yang hampir sama dengan bahan bakar diesel konvensional. Untuk melihat perbandingan antara biodiesel dan bahan bakar diesel konvensional dapat dilihat pada Tabel 3. Biodiesel atau alkil ester dapat diolah lebih lanjut menjadi berbagai produk *oleokimia* yang biasanya dibuat dari asam lemak nabati, Apabila harga jual biodiesel kurang menarik, pengolahan biodiesel lebih lanjut menjadi produk-produk *oleokimia* dari metil ester ternyata lebih menguntungkan karena bahan baku ini tidak korosif, lebih tahan terhadap *ooksidasi* dan tidak mudah berubah warna. Selain itu juga, biodiesel juga dapat dijadikan sebagai bahan baku pembuatan sukrosa yang nantinya dapat dikonsumsi oleh manusia, yaitu berupa gula *polyester*. Gula *polyester* ini dihasilkan melalui proses transesterifikasi dengan menggunakan katalis basa, yaitu dengan mereaksikan karbohidrat dengan asam lemak metal ester dan dengan bantuan katalis natrium metoksida.

3. Kandungan Minyak Nabati

a. Metil Ester Asam Lemak sebagai Komponen Biodiesel

Metil ester asam lemak memiliki rumus molekul $C_n-1H_{2(n-r)}-1CO-OCH_3$ dengan nilai n yang umum adalah angka genap antara 8 sampai dengan 24 dan nilai r yang umum 0, 1, 2, atau 3. Beberapa metil ester asam lemak yang dikenal adalah:

- Metil stearat, $C_{17}H_{35}COOCH_3$ [$n = 18$; $r = 0$]
- Metil palmitat, $C_{15}H_{31}COOCH_3$ [$n = 16$; $r = 0$]
- Metil laurat, $C_{11}H_{23}COOCH_3$ [$n = 12$; $r = 0$]
- Metil oleat, $C_{17}H_{33}COOCH_3$ [$n = 18$; $r = 1$]
- Metil linoleat, $C_{17}H_{31}COOCH_3$ [$n = 18$; $r = 2$]
- Metil linolenat, $C_{17}H_{29}COOCH_3$ [$n = 18$; $r = 3$]

Kelebihan metil ester asam lemak dibanding asam-asam lemak lainnya:

- Ester dapat diproduksi pada suhu reaksi yang lebih rendah.
- Gliserol yang dihasilkan dari metanolisis adalah bebas air.
- Pemurnian metil ester lebih mudah dibanding dengan lemak lainnya karena titik didihnya lebih rendah.
- Metil ester dapat diproses dalam peralatan karbon steel dengan biaya lebih rendah daripada asam lemak yang memerlukan peralatan *stainless steel*.

Metil ester asam lemak tak jenuh memiliki bilangan setana yang lebih kecil dibanding metil ester asam lemak jenuh ($r=0$). Meningkatnya jumlah ikatan rangkap suatu metil ester asam lemak akan menyebabkan penurunan bilangan setana.

b. Minyak Nabati Sebagai Komponen Biodiesel

Tabel 11.4 memperlihatkan kandungan asam lemak dari beberapa minyak nabati. Data yang disajikan mengenai persen kandungan asam lemak jenuh ($r=0$) dan tidak jenuh ($r>0$) dapat digunakan untuk memperkirakan besarnya angka setana yang dimiliki tiap jenis asam lemak. Asam lemak dari sawit memiliki Asam lemak jenuh yang lebih tinggi sehingga dapat diperkirakan memiliki bilangan/angka setana yang lebih tinggi. Minyak kedelai adalah bahan baku biodiesel yang dikembangkan di

Amerika Serikat. Bahan baku dari minyak bunga matahari dan *Rapseed* (*kanola*) dikembangkan sebagai bahan baku biodiesel di Eropa, memiliki angka setana di bawah biodiesel sumber minyak sawit.

Tabel 11.4 Kandungan Asam Lemak pada Beberapa Minyak Nabati

Asam Lemak	R	n	Sawit (%)	Inti Sawit (%)	Kelapa (%)	Kedelai (%)	Bunga Matahari (%)	Kanola (Rape) (%)
Heksanoat	0	6	-	0.5	0.5	-	-	-
Oktanoat	0	8	-	3 – 10	6 - 9	-	-	-
Dekanoat	0	10	-	3 – 14	6 – 10	-	-	-
Laurat	0	12	0.1 – 1.0	37 – 52	44 – 51	-	-	-
Mirisat	0	14	0.9 – 1.5	7 – 17	13 – 18	-	-	-
Palmitat	0	16	41.8-46.8	2 – 9	8 – 10	7 – 10	4 – 8	3,49
Stearat	0	18	4.2 – 5.1	1 – 3	1 – 3	3 – 6	2 – 5	0.48
Eikosanoat	0	20	0.2 – 0.7	0.6	-	0 – 2	0 – 1	-
Dekasanoat	0	22	-	-	-	-	0 – 1	-
Palmitoleat	1	16	-	0.6	0.3	1	-	-
Oleat	1	18	37.3-40.8	11 – 23	5.5-7.5	20-35	20-35	64.4
Linoleat	2	18	9.1-11.0	1 – 3	Tr – 2.5	40-57	45 – 68	22.30
Linolenat	3	18	0 – 0.6	-	-	5 – 14	-	8.23

Sumber: CIC indochemical, 1992

Keterangan:

N = jumlah karbon

R = Ikatan Rangkap

Industri pengolahan minyak sawit menghasilkan fraksi *olein* dan stearin. Fraksi *olein* lebih baik digunakan untuk pembuatan minyak goreng, karena asam lemak tak jenuh yang terkandung di dalamnya lebih mudah dihancurkan di dalam tubuh. Fraksi stearin biasanya digunakan sebagai bahan baku pada pabrik *oleokimia* dan untuk diekspor. Akan tetapi, saat ini ekspor stearin mendapat saingan dari negara lain yang juga penghasil

kelapa sawit seperti Malaysia. Akibatnya, fraksi stearin akan terus berlimpah karena produksi *oleokimia* dalam negeri sampai kini juga masih sangat sedikit dibanding produksi bahan baku yang terus meningkat. Stearin memiliki asam lemak jenuh yang lebih banyak daripada fraksi *olein*, karena itu fraksi stearin memiliki bilangan setana lebih besar. Kedua alasan di atas menjadikan fraksi stearin sebagai sumber yang tepat untuk dijadikan bahan baku pembuatan biodiesel.

E. BAHAN BAKU BIODIESEL

Untuk membuat biodiesel diperlukan tiga komponen utama yaitu, minyak nabati, alkohol dan katalis.

1. Minyak Nabati

Minyak nabati yang biasa disebut *tryglyceryde*, *glycerol ester*, atau asam lemak karena bersifat asam. Minyak nabati berwarna kuning, tidak berbau dan tidak mempunyai rasa. Minyak nabati tidak dapat bercampur dengan air. Minyak nabati yang telah digunakan untuk menggoreng akan menjadi lebih asam dan akan menghasilkan asam lemak bebas. Asam lemak bebas akan dapat menempel pada apa pun yang bersifat basa. Ketika akan membuat biodiesel asam lemak bebas harus dihilangkan terlebih dahulu. Untuk menghilangkan asam lemak bebas digunakan katalis yang lebih banyak pada reaksi pembuatan biodiesel. Banyak katalis yang digunakan bergantung dari seberapa banyak asam minyak nabati tersebut. Minyak nabati memiliki berat jenis 0,94 pada suhu 20°C.

2. Alkohol

Alkohol yang biasa digunakan pada pembuatan biodiesel adalah methanol dan etanol. Metanol memiliki kelebihan lebih mudah bereaksi dan lebih stabil dibandingkan dengan etanol. Kerugian metanol merupakan zat yang beracun dan berbahaya, tetapi metanol sangat mudah terbakar, bahkan lebih mudah terbakar bila dibandingkan bensin. Metanol berwarna bening seperti air, mudah menguap, mudah terbakar, dan mudah bercampur dengan air. Metanol dan etanol yang dapat digunakan hanya yang murni 100%. Metanol merupakan alkohol yang paling banyak digunakan dalam pembuatan biodiesel. Metanol disukai karena hanya memiliki satu rantai ikatan karbon, sedangkan etanol memiliki dua ikatan

karbon. Metanol lebih murah dan lebih mudah memperoleh pemisahan gliserin dibandingkan dengan etanol. Etanol lebih aman, tidak beracun dan dibuat dari hasil pertanian, sedangkan methanol mengandung uap yang berbahaya bagi makhluk hidup dan terbuat dari batu bara.

3. Katalis

Untuk memisahkan minyak nabati perlu ditambahkan katalis. Katalis adalah zat yang digunakan untuk mempercepat reaksi antara zat-zat lain. Katalis yang biasa digunakan adalah natrium hidroksida (NaOH) atau kalium hidroksida (KOH). NaOH biasa disebut juga *Sodium Hydroxide* atau *Caustic Soda*, sedangkan KOH biasa disebut *Potassium Hydroxide* atau *Caustic Potash*. Baik NaOH maupun KOH berupa *flake* atau *granul* NaOH dan KOH juga sangat berbahaya dan dapat melukai kulit, mata dan paru-paru juga berbahaya jika tertelan. KOH merupakan alkali kuat yang korosif. KOH menyerap air dan CO dari udara dan berubah menjadi *potassium carbonate* (K_2CO_3). KOH larut dalam air dengan perbandingan 1:1, alkohol dengan perbandingan 1:3, dan *gliserin* dengan perbandingan 1:2:5. NaOH juga menyerap air dan udara. NaOH hampir larut dalam air dengan perbandingan 1:1, sangat larut dalam alkohol dan *gliserin*. Katalis akan memecahkan minyak nabati dan melepaskan ester. Begitu ester bebas mereka akan menempel pada *alcohol*, sedangkan katalis dan *gliserin* akan mengendap. Jumlah katalis yang digunakan harus tepat, karena pemakaian katalis yang terlalu sedikit akan menyebabkan minyak nabati dan alkohol tidak bereaksi, sedangkan apabila jumlah katalis yang digunakan terlalu banyak akan menyebabkan campuran teremulsi.

4. Gliserin

Gliserin adalah larutan yang berwarna jernih, tidak memiliki bau, kental dan menyerap air. Gliserin memiliki rasa manis, hampir 0,6 kali rasa manis sukrosa. Gliserin mudah bercampur dengan air dan alkohol. Gliserin memiliki titik nyala $176^{\circ}C$ dan titik didih $290^{\circ}C$. Gliserin memiliki berat molekul 92,09 gram/mol. Gliserin yang dihasilkan dari pembuatan biodiesel dapat digunakan sebagai bahan baku pembuatan sabun. Cairan ini dapat dibuang langsung ke tanah dan akan diserap oleh bakteri dan mikroba. Gliserin tidak beracun, dan mudah terurai dan tidak akan membahayakan

mahluk hidup dan tanaman. Gliserin murni 100% dapat dibuat untuk berbagai macam produk dan harganya sangat mahal. Tetapi gliserin hasil pembuatan biodiesel mengandung berbagai kotoran seperti katalis, alkohol, air, dan sisa-sisa makanan. Untuk menghilangkan alkohol dari gliserin dilakukan dengan cara pemanasan agar alkohol dapat menguap. Jika memakai methanol, gliserin harus dipanaskan sampai 1480F (650C). Jika memakai ethanol gliserin harus dipanaskan sampai 1750F (790C), untuk menghilangkan air dari gliserin, gliserin harus dipanaskan sampai mendidih kurang lebih 10 menit.

F. TEKNOLOGI PENGOLAHAN BIODIESEL

1. Produksi Biodiesel dengan Metode Konvensional

Proses biodiesel konvensional berdasarkan pada penggunaan pemanas konvensional daya tinggi (elemen pemanas) dan pengadukan mekanik (*mechanical stirring*). Dalam metode konvensional, pemanas listrik (elemen pemanas) digunakan untuk pemanasan dan motor listrik untuk pencampuran reaktan. Pemanasan konvensional tergantung pada arus konveksi dan konduktivitas termal dari campuran reaksi. Umumnya, suhu reaksi dipertahankan di bawah titik didih metanol. Hasil biodiesel dari 80 hingga 100% dapat diperoleh tergantung pada bahan baku, jumlah dan jenis alkohol, kuantitas katalis, suhu reaksi dan waktu reaksi. Proses biodiesel konvensional yang menggunakan *processing batch (batch processing)* sangat lambat dan waktu reaksi lebih dari satu jam sehingga tahap pemisahannya menggunakan waktu lebih dari 5 jam (Demirbas, 2008), (Meher, et al., 2006), (Atadashi, et al., 2012).

Pembuatan biodiesel umumnya dilakukan dengan pemanasan secara konvensional baik proses batch, kontinu maupun super kritical metanol. Pada umumnya menggunakan perpindahan panas dari sumber panas konvensional seperti *heat exchanger* atau pemanasan langsung dari *heater*. Esterifikasi maupun transesterifikasi dengan pemanasan secara konvensional, energi panas dipindahkan ke bahan baku melalui konveksi, konduksi dan radiasi dari bagian permukaan bahan baku. Alat pemanas akan memanaskan wadah bahan baku terlebih dahulu yang kemudian energi panas akan berpindah ke bahan baku dimana panas dipindahkan dari lingkungan. Oleh karena itu pemanasan secara konvensional menghabiskan

lebih banyak energi dan membutuhkan waktu reaksi lama (Lertsathapornsuk, dkk., 2004).

2. Teknologi Gelombang Mikro (Microwave)

Gelombang mikro (*microwave*) adalah gelombang elektromagnetik dengan frekuensi super tinggi (*Super High Frequency, SHF*), yaitu diatas 3GHz. Sebenarnya gelombang ini merupakan gelombang radio, tetapi panjang gelombangnya lebih kecil dari gelombang radio biasa. Panjang gelombangnya termasuk ultra-short (sangat pendek) sehingga disebut juga mikro, dari sinilah lahir istilah *microwave* (Haryanti, dkk, 2015). Pemanasan dengan gelombang mikro mempunyai karakteristik yang berbeda dengan pemanasan konvensional, karena panas dibangkitkan secara internal akibat getaran molekul-molekul bahan yang ingin dipanaskan oleh gelombang mikro. Pemanasan dengan gelombang mikro mempunyai kelebihan, yaitu pemanasan lebih merata serta pemanasannya juga dapat bersifat selektif artinya tergantung dari dielektrik *properties* bahan.

Oven microwave menggunakan radiasi *microwave*, yang menghasilkan pemanasan dielektrik dengan penyerapan energi di dalam air, lemak dan gula yang terkandung dalam makanan. Selama iradiasi microwave, ikatan atom tidak terpengaruh atau rusak tapi energi dengan cepat ditransfer ke sampel. Dari literatur, telah diteliti bahwa iradiasi microwave dapat digunakan sebagai sumber panas selama reaksi transesterifikasi karena menyelesaikan reaksi transesterifikasi dalam hitungan menit. Karakteristik microwave dielektrik tergantung pada suhu, frekuensi, dan katalis (Pranjali, et al., 2013).

Tabel 11.5 Kondisi optimum untuk Produksi Biodiesel dengan menggunakan Radiasi Microwave

Jenis Minyak	Kondisi Optimun	Referensi
Minyak Jarak	Rasio molar methanol/minyak 7,5:1, KOH 1,5%, Reaksi temperatur 65°C, waktu reaksi 2 menit	Shakinaz A. El Sherbiny, et al, 2010
Pongamia pinnata seed oil	Rasio molar Alkohol/minyak 6:1, NaOH 0,5% dan KOH 1,0%, Reaksi temperatur 60°C	Kumar, et al, 2011
Minyak Goreng Bekas (Jelantah)	Rasio molar metanol/minyak 6:1, CH ₃ ONa atau NaOH 0,75%, waktu reaksi 3 menit, daya microwave 750W	Chen, et al, 2012
Yellow horn oil	Rasio molar methanol/minyak 12:1, temperatur 60°C, waktu reaksi 10 menit, katalis heteropolyacid 1% (CS _{2.5} H _{0.5} PW ₁₂ O ₄₀)	Zhang, et al, 2010
Minyak Kelapa Sawit	Rasio molar methanol/minyak 18:1, waktu reaksi 4 menit, daya microwave 900 W, katalis CaO yang diambil dari kulit telur 15%	Khemthong, et al, 2012
Minyak bekas kelapa sawit	Rasio etanol/minyak 12:1, NaOH 3,0%, waktu reaksi 30 detik	Lertsathapornsuk, et al, 2008

(Kaplan, 2014)

Dalam proses produksi biodiesel dengan menggunakan microwave, reaktan seperti minyak sayur, alkohol dan katalis dicampur menggunakan perangkat pengadukan yang cocok dan dipanaskan oleh sumber panas microwave. Reaktan dikenai iradiasi microwave dengan waktu reaksi yang diperlukan hanya beberapa menit. Setelah itu produk transesterifikasi diendapkan untuk tahap pemisahan. Tahap pemisahan biodiesel dan gliserin membutuhkan waktu 30-60 menit. Setelah tahap ini, biodiesel mentah dicuci dengan air untuk menghilangkan kotoran dan dikeringkan untuk menghilangkan kadar air. Waktu reaksi dan pengaturan waktu yang dibutuhkan untuk metode pemanasan microwave adalah cepat, sehingga dapat mengurangi biaya produksi secara signifikan. Sifat bahan bakar biodiesel yang dihasilkan oleh metode ini mirip dengan biodiesel yang

dihasilkan dengan metode konvensional dan memenuhi standar biodiesel. Tabel 5 menunjukkan kondisi optimum yang dibutuhkan untuk produksi biodiesel dari berbagai minyak nabati.

3. Teknologi Ultrasonik

Teknologi ultrasonik meningkatkan kecepatan reaksi kimia transesterifikasi yang dapat mengubah metode produksi biodiesel dari proses batch menjadi proses pengolahan aliran yang kontinu. Prinsip kerja ultrasonik dalam produksi biodiesel berdasarkan pada emulsifikasi reaktan cair bercampur dengan *microturbulence* yang dihasilkan oleh gerakan radial dari gelembung kavitasi. Hal ini memungkinkan waktu reaksi yang singkat dan menghasilkan biodiesel yang lebih baik karena emulsifikasi dan kavitasi dari cairan-cairan sistem cepat bercampur (Ji, et al., 2006). Proses iradiasi biodiesel ultrasonik mengurangi waktu reaksi 30 menit atau lebih dibandingkan dengan metode konvensional. Lee, et al., (2011) telah menggunakan teknologi ultrasonik untuk memproses biodiesel dengan daya 450 watt.

Manh et al., (2011) mempelajari efek dari waktu iradiasi ultrasonik pada proses pembuatan biodiesel yang dihasilkan dari pencampuran minyak yang berisi tung 20%, canola 50% dan minyak kelapa 30% dengan CH₃OH dan KOH. Hasil penelitian menunjukkan bahwa biodiesel mencapai nilai yang tinggi 87-91% untuk minyak tung dengan waktu $t \geq 5$ menit, sedangkan untuk minyak yang dicampur (tung, canola, dan minyak kelapa) menghasilkan 92-94% dengan waktu $t \geq 1$ menit. Oleh karena itu, para peneliti menyarankan bahwa minyak tung harus dicampur dengan minyak lain untuk menghasilkan biodiesel agar dapat memenuhi standar biodiesel. Tabel 6 menunjukkan kondisi optimum yang dibutuhkan untuk produksi biodiesel dari berbagai minyak. Sifat-sifat biodiesel yang diperoleh dengan metode ini sesuai dengan standar biodiesel (Ibiari, et al., 2010). Deng et al., (2010) melakukan *pre-treatment* minyak *jatropha* dengan H₂SO₄ selama 1 jam pada proses satu tahap dan dua tahap dan memperoleh minyak biodiesel sebesar 96,4%. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa waktu total produksi dengan metode ultrasonik adalah 1,5 jam, sedangkan untuk metode konvensional membutuhkan waktu 4 jam.

Tabel 11.6 Produksi Biodiesel Menggunakan Teknologi Ultrasonik

Jenis Minyak	Rasio Molar (Metanol/minyak)	Kondisi Optimun	Referensi
Minyak Goreng Bekas (Jelantah)	6:1	KOH 1%, Reaksi temperatur 45°C, daya 200 W, waktu radiasi 40 menit	Hingu, et al., (2010)
Minyak Kacang	6:1	KOH 0,75%, waktu radiasi 7 menit	Kumar, et al., (2010)
Canola oil	5:1	KOH 0,7%, waktu 50 menit, radiasi ultrasonic 20 kH, daya 1 kW	Thanh, et al., (2010)
Minyak Jarak	4:1	KOH 0,5%, waktu radiasi 30 menit, amplitude ultrasonic 50% (100W/m ³) dan siklus 0,7 detik	Kumar, et al., (2011)
Crude cotton seed oil	6.2:1	NaOH 1%, waktu radiasi 8 menit	Fan, et al., (2010)

(Kapilan, 2014)

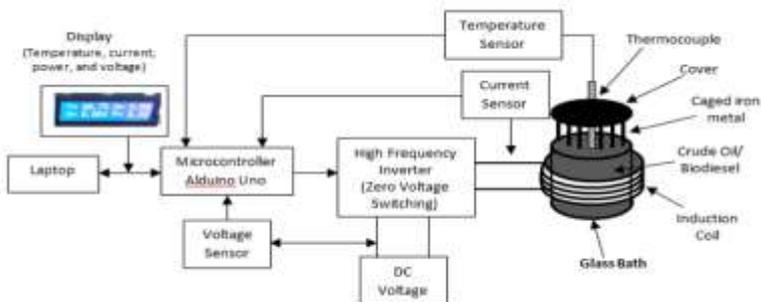
4. Kombinasi Teknologi Microwave dan Ultrasonik

Vitthal et al. (2013) menggunakan metode kombinasi teknologi microwave dan ultrasonik dalam metode sintesis dua langkah untuk nilai asam tinggi pada minyak *nagchampa* dan melakukan perbandingan masing-masing secara individu dengan metode konvensional, teknologi microwave, dan teknologi ultrasonik. Penggunaan teknologi ultrasonik membutuhkan waktu reaksi untuk esterifikasi sekitar 60 menit dan transesterifikasi 20 menit. Kemudian untuk kombinasi teknologi microwave dan ultrasonik dapat menurunkan proses waktu reaksi esterifikasi hanya 15 menit dan proses transesterifikasi menjadi 6 menit. Kemudian, Hsiao et al., (2010) melakukan penelitian mengenai prosedur yang optimal untuk kombinasi teknologi microwave ultrasonic dengan cara pencampuran ultrasonic selama 1 menit diikuti iradiasi microwave selama 2 menit dan kondisi reaksi optimal yang digunakan adalah jumlah katalis 1,0% ; suhu reaksi 333 K; dan rasio molar metanol / minyak 6:1.

5. Teknologi Induksi Elektromagnetik

Sri Kurniati, dkk (2019) telah menemukan suatu teknologi baru dalam pembuatan biodiesel minyak nyamplung (*Calophyllum inophyllum*) yang lebih cepat dibandingkan dengan metode pemanas lain, seperti microwave. Diagram skematik dari pemanas induksi elektromagnetik dapat dilihat dalam Gambar 2. Cara kerjanya adalah radiasi panas induksi elektromagnetik yang diinduksi oleh logam yang dipasang di dalam kumparan diserap oleh minyak sampel, yang dapat menyebabkan munculnya pemanasan dalam sampel. Pemanasan dengan radiasi medan magnet induksi lebih cepat dan merata di sepanjang logam yang dipasang di dalam kumparan, tidak mentransfer panas dari luar. Lamanya induksi yang diberikan logam mempengaruhi kenaikan suhu/panas logam yang mempengaruhi jalannya reaksi transesterifikasi. Semakin besar temperatur yang diberikan maka reaksi transesterifikasi berjalan semakin cepat dan akan menghasilkan semakin banyak konversi biodiesel.

Getaran pada molekul yang diinduksi oleh radiasi panas induksi akan menghasilkan panas yang seragam pada molekul, dimana panas induksi yang dihasilkan menembus molekul dan menggetarkan molekul secara merata, tidak hanya permukaan. Radiasi pemanasan yang diinduksi dapat mempercepat reaksi dengan menggetarkan molekul reaktan dengan cepat. Waktu transesterifikasi pada suhu 600 C hanya 25.8 detik dan dikontrol secara otomatis oleh mikrokontroler.



Gambar 11.2 Blok Diagram Sistem Pemanasan Induksi Elektromagnetik dengan Menggunakan Mikrokontroler

G. RANGKUMAN MATERI

Pengembangan bioteknologi bidang energi seperti industri bahan bakar nabati memberikan peluang bagi negara berkembang untuk memanfaatkan potensi bahan bakar nabati (BBN). Beberapa peneliti telah melakukan treatment terhadap beberapa tumbuhan yang bisa diolah menjadi bahan bakar sebagai pengganti solar atau bensin. Di antaranya, jarak pagar, sawit, kapuk, kanola, bunga matahari, dan nyamplung. Selain itu, beberapa pengolahan energi biomassa juga telah dilakukan untuk kebutuhan energi dan daur ulang minyak jelantah menjadi biodiesel.

Pemanfaatan bioteknologi menjadi pilihan terbaik dalam meningkatkan produktivitas untuk menghasilkan energi alternatif yang berkelanjutan yang menggunakan bahan baku nabati dan bahan baku biomassa. Industri bioteknologi adalah rantai nilai yang mengkonversikan produk pertanian dan limbah pertanian menjadi gula melalui proses kimia/fisika dengan atau tanpa enzim. Selain itu, pemanfaatan teknologi pengolahan biodiesel menjadikan produksi bioteknologi untuk kebutuhan energi menjadi lebih murah dan efisien. Paradigma merubah dan membangun ekonomi dengan pembangunan BBN sangat bermanfaat tidak saja dipandang dari upaya mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar minyak bumi namun juga sangat bermanfaat untuk penggunaan bahan bakar yang tidak merusak lingkungan dan keamanan nasional dan internasional.

TUGAS DAN EVALUASI

1. Sebutkan sumber bahan bakar nabati yang bisa dijadikan sebagai bahan baku sumber *biofuel*!
2. Jelaskan beberapa karakteristik dari biodiesel berdasarkan standar ASTM!
3. Jelaskan 3 komponen utama dalam pembuatan biodiesel!
4. Sebutkan kelebihan kandungan metil ester dibanding dengan lemak lainnya!
5. Sebutkan dan jelaskan teknologi pembuatan biodiesel!

DAFTAR PUSTAKA

- Adan, I.U. (1998). **Membuat Briket Bio Arang**, Kanisius, Bandung.
- Anonim. (2005). **Blue Print Pengelolaan Energi Nasional 2005 – 2025**. Jakarta.
- Atadashi, I. M., Aroua, M. K., Aziz, A. A. R. dan Sulaiman, N.M.N. (2012). **Production of biodiesel using high free fatty acid feedstocks**, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 16(5), 3275-3285.
- Chen, K. S., Lin, Y. C., Hsu, K. H., and Wang, H. K. (2012), **Improving biodiesel yields from waste cooking oil by using sodium methoxide and a microwave heating system**, Energy, 38 (1), 151-156.
- Hsiao, M.C., Lin, C. C., Chang, Y. H., and Chen, L. C. (2010), **Ultrasonic mixing and closed microwave irradiation-assisted transesterification of soybean oil**, Fuel, 89(12), 3618-3622.
- Deng, X., Fang, Z., and Liu, Y. H. (2010). **Ultrasonic transesterification of *Jatropha curcas* L. oil to biodiesel by a two-step process**, Energy Conversion and Management, 51(12), 2802-2807.
- Demirbas, A. (2008). **Progress and recent trends in biodiesel fuels**. Energy Conversion and Management. pp:14–34.
- Demirbas, A. (2008). **Comparison of transesterification methods for production of biodiesel from vegetable oils and fats**, J. Energy Conversion and Management, 49 (1), 125-130.
- Fan, X., Chen, F., and Wang, X. (2010), **Ultrasound-assisted synthesis of biodiesel from crude cottonseed oil using response surface methodology**. J Oleo Sci., 59 (5), 235-241.
- Haryanto, A., Silviana, U., Triyono, S. dan Prabawa, S. (2015). **Produksi Biodiesel dari Transesterifikasi Minyak Jelantah dengan Bantuan Gelombang Mikro: Pengaruh Intensitas Daya dan Waktu Reaksi Terhadap Rendemen dan Karakteristik Biodiesel**. AGRITECH, Vol. 35, No. 2.
- Hingu, S. M., Gogate, P. R., Rathod, V. K. (2010), **Synthesis of biodiesel from waste cooking oil using sonochemical reactors** , Ultrasonics Sonochemistry, 17(5), 827-832.

- Helzamy. (2004). ***Biodiesel dari Minyak Nabati***. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Ibiari, N. N., El-Enin, S. A. A., Attia, N. K., and El-Diwani, G. (2010), ***Ultrasonic Comparative Assessment for Biodiesel Production from Rapeseed***, Journal of American Science, 6 (12), 937-943.
- Ji, J., Wang, J., Li, Y., Yu, Y., and Xu, Z. (2006). ***Preparation of biodiesel with the help of ultrasonic and hydrodynamic cavitation***, Ultrasonics, 44, 411-414.
- Kumar, D., Kumar, G., Poonam, Singh, C. P. (2010), ***Fast, easy ethanolysis of coconut oil for biodiesel production assisted by ultrasonication***, Ultrasonics Sonochemistry, 17(3), 555-559.
- Lee, S.B., Lee, J. D., Hong, I. K. (2011), ***Ultrasonic energy effect on vegetable oil based biodiesel synthetic process***, Journal of Industrial and Engineering Chemistry, 17(1), 138-143.
- Lertsathapornsuk, V., Ruangying, P., Pairintra, R., and Krisnangkura, K. (2004). ***Continuous Transesthylation of Vegetable Oils by Microwave Irradiation***. Thailand.
- Wu, L., Zhu, H., and Huang, K. (2013). ***Thermal analysis on the process of microwave-assisted biodiesel production***, Bioresource Technology, 133, 279-284.
- Kumar, G., Kumar, D., Poonam, Johari, R. and Singh, C. P. (2011). ***Enzymatic transesterification of *Jatropha curcas* oil assisted by ultrasonication***, Ultrasonics Sonochemistry, 18(5), 923-927.
- Kurniati, S., Soeparman, S., Yuwono, S.S., Hakim, L., and Syam, S. (2019). A Novel Process Production of Calophyllum Inophyllum Biodiesel with Electromagnetic Induction. Energies (12), 383, 1-10.
- Ketaren S. (1986). ***Pengantar Teknologi Minyak dan Lemak Pangan***, UI Press Jakarta.
- Khemthong, P., Luadthong, C., Nualpaeng, W., Changsuwan, P., Tongprem, P., Viriya-empikul, N., and Faungnawakij, K. (2012). ***Industrial eggshell wastes as the heterogeneous catalysts for microwave-assisted biodiesel production***, Catalysis Today, 190 (1), 112-116.
- Kapilan, N., Bayko, D., and Baykov. (2014). ***A Review on New Methods used for the Production of Biodiesel***. Petroleum & Coal 56 (1) 62-73.

- Manh, D.V., Chen, Y. H., Chang, C. C., Chang, M. C., Chang, C. Y. (2011). ***Biodiesel production from Tung oil and blended oil via ultrasonic transesterification process***, Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers, 42(4), 640-644.
- Meher L.C. Sagar, V. D. and Naik., S. N. (2006). ***Technical aspects of biodiesel production by transesterification—A Review***. J. Renew Sustain Energy Rev. 10: 248–268.
- Pramudono, B. (2007). ***Energi Biomassa Solusi Jitu Atasi Krisis BBM***, Solo Kompas, www.beritaipstek.com/zberita-beritaipstek.
- Pranjali D. Muley, and Boldor, D. (2013). ***Investigation of microwave dielectric properties of biodiesel components***, Bioresource Technology, 127, 165-174.
- RUEN. (2017). ***Rencana Umum Energi Nasional***. Peraturan Pemerintah Nomor 22 tahun 2017.
- Shakinaz, A. El Sherbiny, Ahmed A., Refaat, Shakinaz, El Sheltawy, T. (2010), ***Production of biodiesel using the microwave technique***, Journal of Advanced Research, 1(4), 309-314.
- Syafii, W. (2003). ***Hutan Sumber Energi Masa Depan***, [http : // www.kompas.com/kompas-cetak/0q304/15/ilpeng/256044.htm](http://www.kompas.com/kompas-cetak/0q304/15/ilpeng/256044.htm).
- Tjokrowisastro, E. H., dan Widodo, B. U. K. (1990). ***Teknik Pembakaran Dasar dan Bahan Bakar***, ITS, Surabaya.
- Thanh, L. T., Okitsu, K., Sadanaga, Y., Takenaka, N., Maeda, Y., Bandow, H. (2010), ***Ultrasound-assisted production of biodiesel fuel from vegetable oils in a small-scale circulation process***, Bioresource Technology 101, 639–645.
- Vitthal L., Gole, Parag R., Gogate. (2013). ***Intensification of synthesis of biodiesel from non-edible oil using sequential combination of microwave and ultrasound***, Fuel Processing Technology, 106, 62-69.
- Zhang, S., Zu, Y. G., Fu, Y. J., Luo, M., Zhang, D. Y., Efferth, T. (2010). ***Rapid microwave-assisted transesterification of yellow horn oil to biodiesel using a heteropolyacid solid catalyst***, Bioresource Technology, 101 (3), 931-936.



BAB
12

ETIKA BIOTEKNOLOGI

Moh. Imam Sufiyanto, S.Si., S.Pd., M.Pd.
IAIN Madura

A. PENDAHULUAN

Etika mengidentifikasi kode nilai untuk tindakan kita, terutama terhadap manusia lainnya. Dalam istilah sederhana, etika bisa dianggap sebagai panduan untuk memisahkan yang benar dari yang salah dan yang baik dari yang jahat. Bidang etika yang berkaitan dengan implikasi dari penelitian biologi dan aplikasi bioteknologi, terutama mengenai obat-obatan, disebut *bioetika*. Ini mempertimbangkan aspek sosial dan moral serta hasil potensi penggunaan teknologi biologi dan medis.

Etika adalah disiplin berbasis dilema. Dilema etika muncul kapan saja, dan masalah penting atau situasi tertentu memerlukan pertimbangan cermat dan berpikir untuk membuat apa yang kita percaya untuk menjadi keputusan etis. Salah satu pertanyaan mendasar yang harus ditanyakan dalam menangani isu-isu *bioetika* adalah bukan "dapatkah hal ini dilakukan?" tetapi "haruskah hal ini dilakukan?" Dan jika sesuatu itu harus dilakukan, pertanyaannya menjadi "bagaimana hal itu dapat dilakukan dengan cara yang benar?" pertanyaan-pertanyaan seperti itu penting bagi setiap orang untuk mempertimbangkan, terutama di bidang bioteknologi, di mana penemuan dan aplikasi mereka dapat memiliki dampak besar pada

kesehatan manusia dan lingkungan. Pertanyaan-pertanyaan ini sampai ke jantung masyarakat tidak hanya sebagai ilmu pengetahuan tetapi juga perannya dalam masyarakat.

Sebagai contoh, perhatikan foto yang ditampilkan pada Gambar berikut:



Gambar Ayam yang telah ditanam sel tikus

Para ilmuwan telah menanamkan sel-sel tikus ke dalam embrio ayam untuk menunjukkan bahwa sel-sel tikus bisa menerima sinyal dari embrio ayam untuk menginduksi perkembangan suatu gigi yang tidak biasanya terjadi pada ayam. Embrio ayam mulai membentuk gigi, namun mereka tidak diizinkan untuk berkembang menjadi dewasa. Tetapi beberapa orang yang marah pada percobaan seperti ini, kemudian mereka menciptakan gambar "seperti *Frankenstein*" ayam mutan dengan gigi yang tidak normal. Gambar ayam ditunjukkan pada gambar di atas diciptakan oleh fotografer untuk nilai *shock* dan pokok berita, hal itu tidak nyata. Jadi hanya karena teknologi yang tersedia untuk menciptakan embrio ayam dengan gigi, harus itu dilakukan dari awal? Haruskah embrio dibiarkan tumbuh sampai ayam dewasa untuk melihat apakah itu akan mengembangkan gigi? Apakah ini etis? Bagaimana menurut Anda?

B. PENDEKATAN KEPUTUSAN PEMBUATAN ETIKA

Pemikiran etika dan metode untuk pendekatan sering kali dapat dibagi dua sudut pandang utama (walaupun ada pasti pendekatan lain juga), yaitu:

1. Pendekatan utilitarian, atau etika konsekuensial, oleh filsuf Jeremy Bentham Skotlandia (1748-1832) dan filsuf Inggris John Stuart Mill (1806-1873). Pendekatan ini menyatakan bahwa sesuatu itu baik jika

berguna, dan tindakan adalah moral jika menghasilkan "kebaikan terbesar untuk jumlah terbesar."

2. Pendekatan *deontologis* (Kantian), atau tugas etika berasal dari Jerman filsuf Immanuel Kant (1724-1804) dan berfokus pada keharusan tertentu, atau prinsip-prinsip mutlak yang harus kita ikuti keluar dari rasa kewajiban dan harus mendikte tindakan kita.

Bioetika modern dapat ditelusuri jauh lebih baru dan terutama karya dua ahli etika pada tahun 1970: Joseph Fletcher dan Paul Ramsey. Orang-orang yang berperan dua pendekatan utama untuk pemikiran etis, yaitu Fletcher untuk *utilitarianisme* (juga disebut "etika situasional") dan Ramsey untuk tata susila (atau "objektivitas").

Utilitarianisme menekankan konsekuensi, bukan niat. Cara lain untuk frase penekanan ini adalah bahwa "tujuan menghalalkan segala cara." Idanya adalah untuk menghitung apa konsekuensi dari suatu tindakan dan akan mempertimbangkan konsekuensi yang berbeda terhadap satu sama lain. Jika kita dapat menganalisis berbagai tindakan untuk menentukan yang akan memiliki efek positif terbesar pada jumlah terbesar orang, maka kita dapat memberikan jawaban atas pertanyaan tentang apa yang harus kita lakukan. Dalam beberapa hal, ini adalah metode elegan untuk membuat keputusan. Semua jalan dapat dinilai untuk manfaat potensial, dan keputusan menjadi lebih kuantitatif. Kerugian dari perhitungan ini adalah bahwa kita harus menetapkan nilai-nilai ini.

Beberapa orang akan mengatakan bahwa beberapa hal yang paling penting dalam hidup (cinta dan keluarga) tidak mudah diukur, sedangkan hal-hal lain (materi barang dan masa hidup) dapat ditekankan dalam perhitungan karena mereka dihitung. Deontologi, atau objektivitas, mulai dari sudut pandang bahwa ada setidaknya beberapa mutlak (aturan definitif yang tidak dapat rusak) dan bahwa kita memiliki kewajiban moral atau komitmen untuk mematuhi tersebut mutlak. Satu mutlak biasanya disebutkan adalah untuk nilai kehidupan manusia, diungkapkan oleh Kant dengan cara ini: "Bertindak sedemikian rupa sehingga Anda selalu memperlakukan umat manusia, baik secara pribadi kita sendiri atau orang lain dari, tidak pernah hanya sebagai sarana, tetapi selalu pada saat yang sama sebagai tujuan". Cara lain untuk mengatakan ini adalah dalam hal

menghormati orang lain, bahwa kita harus memperlakukan orang lain sebagai tujuan dalam diri mereka sendiri bukan sebagai alat untuk mencapai tujuan.

Pendekatan ini telah sering dikaitkan dengan tradisi keagamaan, tetapi merupakan gagasan keliru menganggap bahwa pendekatan etis objektif semata-mata pendekatan agama atau bahkan bahwa semua pendekatan agama untuk masalah etika dimulai dengan kemutlakan yang sama. Keyakinan yang dipegang hanya itu poin pribadi referensi dimana melekat individu. Keuntungan dari objektivitas adalah bahwa hal itu memberi pedoman perusahaan dalam banyak situasi di mana keputusan etis yang diperlukan, menyediakan formula yang jelas etis untuk pengambilan keputusan. Kelemahan dari pendekatan ini adalah bahwa hal itu mungkin, atau setidaknya dapat dianggap, terlalu kaku dalam proses pengambilan keputusan, tidak mengambil apa yang mungkin menjadi faktor penting memperhitungkan atau mempertimbangkan kemungkinan perubahan dalam nilai-nilai. Dan mungkin ada situasi atau masalah di mana tidak ada keyakinan yang jelas atau absolut ada, memerlukan pemeriksaan lebih lanjut dari masalah ini untuk menentukan imperatif moral dan membedakan tindakan (Fitri, 2012).

Untuk menggambarkan perbedaan antara *utilitarianisme* dan objektivitas, mempertimbangkan situasi di mana seseorang yang sangat lapar dan tidak punya uang untuk membeli makanan. Berkeliaran di toko, dan orang tersebut melihat sepotong roti yang tersisa di atas meja. Sebuah perhitungan *utilitarian* mungkin mempertimbangkan kebutuhan orang, makanan yang tersedia, dan kerugian sangat kecil nilai ke toko dan menganggap bahwa hal itu akan baik-baik saja untuk mengambil roti. Suatu pendekatan objektif mungkin memiliki mutlak "itu salah untuk mencuri" dan menganggapnya tidak etis untuk mengambil roti.

Bahkan dua pendekatan untuk pengambilan keputusan etis kadang-kadang bisa dicampur. Dalam mendekati keputusan etis, tujuan utama adalah untuk mengumpulkan informasi, mempertimbangkan fakta-fakta, dan membuat keputusan, bijaksana informasi. Dan dalam perdebatan tentang isu-isu etis diperdebatkan, itu adalah tidak bijaksana dan tidak sopan untuk mencemooh atau meremehkan keputusan orang lain. Jadilah sensitif terhadap efek dari perilaku Anda sendiri. Bertujuan untuk

memahami dan membela keputusan sendiri etika rasional, dan berusaha untuk mempertimbangkan keputusan orang lain.

Gagasan kemungkinan suatu peristiwa, probabilitas statistik, merupakan konsep penting yang perlu diingat dalam membuat keputusan etis. Hal ini penting untuk menentukan secara akurat kemungkinan sesuatu yang "buruk" akan terjadi. Pertimbangan lain mungkin betapa negatif efek dari peristiwa yang mungkin akan terjadi. Karena banyak konsekuensi membutuhkan waktu untuk dapat berkembang, kemungkinan sebuah terjadi secara hasil harus menjadi bagian dari sebuah pertimbangan dalam menciptakan sebuah inovasi dalam bioteknologi secara etika. Bioetika dan ilmuwan sering menggunakan ukuran statistik untuk menentukan penilaian risiko, kemungkinan bahwa sesuatu yang berbahaya atau tidak diinginkan akan terjadi. Penilaian risiko merupakan bagian dari proses pengambilan keputusan Anda setiap hari. Misalnya, Anda sekarang bahwa setiap kali Anda mengemudi mobil Anda ada risiko bahwa Anda mungkin berada dalam sebuah kecelakaan. Dengan asumsi bahwa Anda tidak takut mengemudi, penilaian risiko Anda mungkin memberitahu Anda bahwa kemungkinan kecelakaan tidak lebih besar daripada kebutuhan untuk mendapatkan di mana Anda ingin pergi. Penggunaan telepon seluler, perjalanan udara, minum alkohol, risiko-manfaat dari minum antibiotik, obat flu, vaksin atau obat lain (versus efek samping) atau membuat pilihan diet yang buruk adalah contoh yang baik lainnya dari penilaian risiko dalam kehidupan Anda yang biasa.

C. ETIKA DAN BIOTEKNOLOGI

Alam telah melakukan eksperimen bioteknologi untuk lebih lama daripada manusia miliki. Bakteri secara rutin bertukar plasmid dan rekombinasi dan mutasi terjadi, yang memungkinkan ekspresi gen baru atau kombinasi baru dari gen yang tidak hadir sebelumnya. Namun, permainan berubah ketika manusia terlibat dan membuat kombinasi genetik baru. Adanya kekhawatiran dengan teknologi DNA rekombinan sebagai metode baru, para ilmuwan bertemu di sebuah konferensi di *Asilomar, California*, pada tahun 1975 dan menyerukan moratorium (penghentian sementara tapi lengkap penelitian apapun) sampai keamanan teknik dan konsekuensi yang mungkin dapat dinilai. Ingatlah bahwa

perhatian utama adalah bahwa bakteri rekayasa genetika akan melarikan diri dari laboratorium ke lingkungan, mungkin menciptakan penyakit baru, penyakit lama menyebar dengan cara yang lebih ganas, atau membuat perubahan ekosistem yang dapat mengakibatkan penipisan dari beberapa spesies.

Pada akhirnya, para ilmuwan menetapkan bahwa teknologi DNA rekombinan dapat dikendalikan dengan cara yang akan melestarikan keamanan bagi manusia dan lingkungan sementara memungkinkan ilmu untuk melanjutkan. Secara khusus, Pedoman tersebut dikembangkan untuk berbagai tingkat *biosafety* penahanan tergantung pada bahaya yang melekat dari sistem eksperimental yang digunakan. Misalnya, percobaan dengan bakteri patogenik dan urutan *nonpathogenic* gen membutuhkan peralatan keselamatan hanya sedikit, sedangkan percobaan dengan patogen diketahui, sel-sel manusia, atau berpotensi gen patogen memerlukan prosedur penahanan lebih ketat.

D. SEL DAN MACAM-MACAM PRODUK

Coba pikirkan tentang tantangan etis yang terlibat dengan modifikasi genetik dari sel-sel individual dan produk yang telah muncul sebagai akibat rekayasa genetik. Ketika produk menyangkut implikasi pada manusia, seperti terapi protein rekombinan, masalah tidak hanya keselamatan tetapi juga masalah keberhasilan atau efektivitas dalam penggunaan. Hal ini penting untuk pasien, karena pasien menginginkan pengobatan yang efektif. Namun keberhasilan juga penting bagi produsen, jika produk tersebut tidak efektif, bisa ada limbah ekonomi yang luar biasa. Untuk obat apapun, suatu pertimbangan penting untuk menentukan berapa dosis suatu obat efektif, dengan efek samping yang minimal dan toksisitas. Akibatnya juga akan menjadi penting untuk menentukan apakah obat tersebut menimbulkan bahaya seperti karsinogenik atau teratogenik.

Pertimbangan ini mencegah masalah masa depan, seperti mengetahui bahwa obat penyakit pada satu dosis tetapi membunuh pasien atau menyebabkan cacat lahir atau kanker pada dosis yang lain, karena mereka meningkatkan kepedulian etis merugikan, daripada membantu pasien dan potensi masalah yang terlibat dalam menggunakan pasien sendiri sebagai kelinci percobaan untuk menguji efektivitas obat.

Kita harus sadar bahwa hewan secara manusiawi dalam studi praklinis. Kita perlu menentukan berapa banyak hewan percobaan yang diperlukan untuk menguji obat, jenis perawatan untuk tes, dan apakah hewan pengerat atau primata harus digunakan. Pemilihan spesies dapat mempengaruhi aksi obat. Salah satu contoh terbaik dari perbedaan spesies dalam aksi obat terjadi dengan obat *thalidomide*, yang pada awalnya dirancang sebagai obat penenang ringan. Itu diuji pada tikus laboratorium standar dan ditemukan aman. Namun, banyak perempuan hamil yang mengambil obat penenang ini melahirkan bayi dengan cacat lahir yang parah. Ketika obat diuji pada *marmoset* (sejenis monyet), cacat lahir yang sama dengan yang terlihat pada manusia dihasilkan. Ternyata bahwa metabolisme obat dapat bervariasi antar spesies (Nurfatoni, 2007).

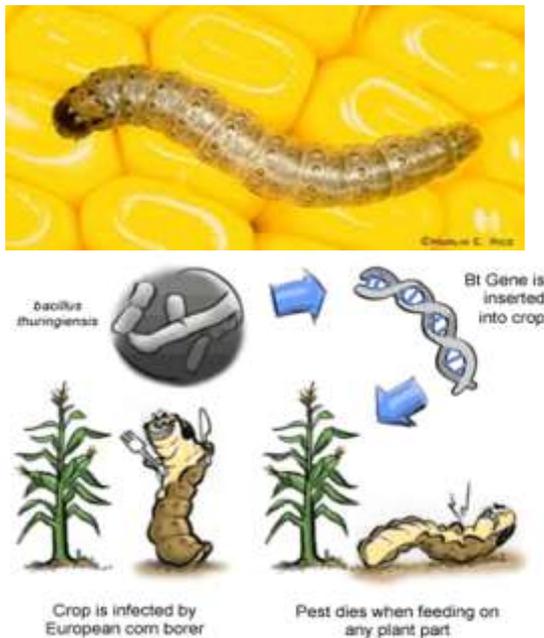
1. Tanaman GM: Apakah Anda Tahu Apa yang Anda Makan?

Sebuah kemajuan penting dalam rekayasa genetika, dan juga salah satu kontroversi terbesar, telah datang dari hasil organisme rekayasa genetik (GM) khususnya tanaman GM. Tujuannya adalah untuk menghasilkan tanaman yang dapat melawan hama, penyakit, atau iklim yang keras, serta memfasilitasi produksi tanaman. Namun banyak orang yang menentang tanaman GM dan memiliki keengganan untuk menelan makanan yang dimodifikasi secara genetik. Tanaman GM dan tanaman rekayasa genetika lain menjadi perhatian. Pertama melibatkan tanaman itu sendiri. Para ilmuwan harus menentukan apakah perubahan genetika dalam tanaman memberikan manfaat bagi pabrik atau setidaknya tidak menghasilkan tanaman yang kurang kuat. Satu pertanyaan yang layak dijawab adalah penting mana tanaman rekayasa genetik dengan tanaman asli (plasma nutfah)? Dengan demikian, menentukan sendiri apakah modifikasi genetik dari organisme, dalam hal ini kasus tanaman, melanggar setiap kode etik.

Pertanyaan lain, pada skala yang lebih luas, adalah efek kemungkinan tanaman diubah pada ekosistem dan keanekaragaman hayati secara keseluruhan (berbagai spesies yang berbeda hadir dalam suatu ekosistem). Kita harus menentukan efek dari pengenalan tanaman rekayasa genetika pada lingkungan setempat. Karena kita berfokus pada tanaman, efek yang diinginkan kemungkinan tidak hanya untuk meningkatkan pertumbuhan

dan produksi tanaman GM tetapi juga untuk mengurangi bahaya yang mungkin disebabkan oleh hama dan penyakit potensial.

Salah satu contoh adalah *Roundup Ready*-kedelai. Kedelai ini secara genetik dimodifikasi untuk melawan herbisida *Roundup*, memungkinkan petani untuk menyemprot tanaman dan membunuh gulma berbahaya yang akan mengganggu pertumbuhan tanaman tanpa merugikan kedelai. Contoh lain adalah jagung Bt.



Tanaman GM direkayasa untuk memproduksi racun dari bakteri *Bacillus thuringiensis*, yang mampu membunuh larva penggerek jagung dan hama lainnya yang memakan tanaman. Beberapa penelitian telah menunjukkan efek toksik kemungkinan tanaman Bt pada kupu-kupu *Monarch*, meskipun mereka serangga bukan target dan tidak memakan jagung.



Gambar kupu-kupu Monarch

Dengan demikian akan menjadi penting untuk dapat mengetahui apakah racun mempengaruhi spesies tertentu atau kelompok serangga dan apakah serangga bukan target juga dapat dipengaruhi. Satu pertanyaan yang dipertimbangkan adalah apakah racun tersebut bisa menyebar atau dibatasi semata-mata untuk kepentingan tanaman jagung. Karena jagung penyerbukannya dengan angin, serbuk sari mungkin dibawa ke tanaman lain dan menjadi racun bagi beberapa serangga di kejauhan. Para peneliti harus menentukan kemungkinan ini terjadi. Untuk kupu-kupu *Monarch*, penelitian menunjukkan bahwa serbuk sari jagung dapat disebarkan oleh angin ke tanaman *milkweed* (yang merupakan sumber makanan bagi kupu-kupu *monarch*) terletak di sebelah ladang jagung GM. Kupu-kupu *Monarch* makan *milkweed* kemudian bisa menelan serbuk sari jagung (dan racun). Para ilmuwan harus bertanya apakah ini adalah kemungkinan terjadinya dan berapa banyak serbuk sari dan racun yang dibutuhkan untuk membunuh kupu-kupu *monarch*. percobaan Anda bisa merancang untuk menguji pertanyaan-pertanyaan ini. Dalam beberapa tahun terakhir, beberapa studi jangka panjang telah menunjukkan tidak ada efek samping dari paparan kupu-kupu *monarch* ke tanaman *Bt*.

Pertanyaan lain yang perlu dipertimbangkan tentang produk dari tanaman GM: kita harus mempertimbangkan bagaimana hal itu akan digunakan, apakah aman untuk memberi makan kepada hewan, dan apakah itu aman bagi manusia. Kita juga harus mengumpulkan semua fakta dan membuat evaluasi informasi. Karena racun diarahkan terhadap serangga, tampaknya tidak mungkin bahwa hal itu akan mempengaruhi hewan atau manusia. Tetapi membuat asumsi ini tidak cukup bukti dan tes yang diperlukan yang bisa memverifikasi keamanannya. Pikirkan beberapa

eksperimen yang dapat Anda lakukan untuk menguji keamanan produk GM. Banyak kasus antibiotik resistensi gen digunakan sebagai penanda seleksi sel rekayasa genetika. Apakah gen masih hadir dalam tanaman GM? Dan jika demikian, bisa gen ditransfer dari makanan dicerna untuk usus bakteri? Anda lagi harus bertanya apa yang kemungkinan adalah bahwa DNA atau protein akan bertahan pada pencernaan. Kita juga harus menentukan apakah produk dari tanaman GM harus dikarantina setelah tanaman telah dibudidayakan. Ini lagi datang kembali ke pertanyaan kita keselamatan, terutama mengenai paparan atau konsumsi produk (Thienman, 2013).

Salah satu pertimbangan yang perlu di ingat adalah apakah racun Bt akan bertahan pada makanan dan masih merangsang reaksi alergi. Beberapa negara ketat membatasi impor tanaman GM, dan ada gerakan untuk label makanan untuk menunjuk asal mereka dalam hal tanaman rekayasa genetika potensial. Beberapa orang percaya bahwa, berdasarkan data, pembatasan ini tidak sah dan terlalu dapat menakut-nakuti konsumen. Apa yang akan menjadi reaksi Anda menemukan 'GM' label pada *pizza* atau *cornflake*?

Masalah sosial dan ekonomi juga timbul dari potensi penggunaan tanaman GM. Kemampuan untuk memodifikasi tanaman untuk lebih baik, produksi lebih murah secara drastis bisa mengubah industri pertanian. Berpotensi, lebih banyak makanan berlimpah dapat tersedia dengan biaya yang dikurangi baik kepada petani dan konsumen. Keuntungan ini dapat diimbangi dengan kerugian potensial, namun, seperti masalah keamanan dijelaskan sebelumnya. Penggunaan lainnya untuk tanaman GM meliputi produksi senyawa medis yang berguna. Keamanan dan kemanjuran lagi menjadi pertimbangan utama dalam penilaian etika untuk penggunaan senyawa ini. Saat ini kebijakan AS tidak hanya menuntut berbagai tes biasa untuk keamanan dan kemanjuran senyawa medis tetapi juga bahwa pertumbuhan tanaman GM dibatasi. Lahan pertanian harus dikelilingi oleh tanaman lain yang tidak boleh penyerbukan silang dengan tanaman GM, semua bahan tanaman harus dikeluarkan pada saat panen, dan lapangan tidak dapat digunakan untuk beberapa tahun setelah panen.

2. Modifikasi genetik hewan

Modifikasi genetik menimbulkan banyak pertanyaan yang sama seperti yang muncul pada modifikasi tumbuhan. Aplikasi awal dari bioteknologi pada peternakan hewan telah melibatkan suplemen antibiotik pada makanan dan injeksi hormon pertumbuhan atau *steroids* untuk meningkatkan pertumbuhan hewan. Mempertimbangkan aplikasi pemberian suplemen dan injeksi ini dari sudut pandang etika.

- a. Karena ini merupakan hewan yang ditanam, efek dari modifikasi pada produk dari hewan (daging, susu, dll.).
- b. Di samping itu dilihat dari keamanan dari produk dari konsumsi manusia yang menjadi fokus utama.

Salah satu pertimbangan adalah lama dari suplemen (hormon) akan berada di dalam hewan, maksudnya adalah apakah mereka akan tetap hadir ketika produk hewan ini dikonsumsi manusia. Seandainya begitu, ilmuwan seharusnya juga menentukan apakah akan ada efek bagi konsumen dapat, apakah hormon tersebut akan tetap bertahan pada proses pemasakan/penggorengan atau proses pencernaan. Fokus kecil telah diperbincangkan mengenai GM peternakan hewan pada lingkungan, namun demikian masih ada pertanyaan tentang integritas spesies dan kesehatan hewan demikian juga keamanan produk hewan untuk konsumen misalnya manusia.

Dewasa ini, ilmuwan Inggris dan Prancis mengimplan sel tikus ke dalam embrio ayam untuk mendemonstrasikan bahwa sel tikus dapat mengingat kembali sinyal perkembangan dari sel ayam untuk menstimulasi merangsang formasi gigi. Hal ini mengindikasikan bahwa gen-gen ini dapat diaktifkan dan dapat menstimulasi perkembangan dari gigi ketika sel yang tertentu muncul. Eksperimen tersebut menjadi pertanyaan penting bagi para peneliti yaitu penggunaan etika, meskipun eksperimen tersebut memberikan informasi berharga yaitu eksperimen ini dapat mengklarifikasi perkembangan gigi dan potensi dimasa depan untuk mengembangkan perlakuan yang baru pada formasi gigi, pemindahan dan regenerasinya terhadap manusia.

3. Pertanyaan Manusia

Banyak pertanyaan besar mengenai bioteknologi dan beberapa banyak menjadi bahan perdebatan yang sengit yang berputar-putar di sekeliling manusia. Menjadi suatu perdebatan yang emosional ketika manusia itu sendiri menjadi subjek dari aplikasi bioteknologi tersebut. Inilah yang menimbulkan pertanyaan bagi kita, mengapa pemanfaatan bahkan manfaat yang potensial pun dari eksperimen manusia menyebabkan sebuah reaksi yang hebat?

Dewasa ini kita melihat sebuah contoh berdasarkan dari obat anti kanker yang potensial yang dihasilkan dari bioteknologi. Seandainya obat tersebut telah berubah sepanjang titik dimana obat tersebut siap untuk uji coba klinis. Kita harus menentukan untuk siapa kita akan mengelola obat-obat tersebut sebagai sebuah eksperimen. Karena ini merupakan obat anti kanker, maka secara alami akan diberikan kepada pasien yang mempunyai kanker dan merupakan target dari obat tersebut. Pasien mempunyai hak untuk diinformasikan secara penuh dari efek potensial dari perlakuan eksperimental baik maupun buruk. Hal ini yang disebut dengan *Informed Consent*. Indonesia sendiri telah mengatur mengenai *informe consent* ini dalam PP Nomor 18 tahun 1981 pasal 15. Sehingga sebelum proses eksperimen/uji coba dilakukan pasien telah menyetujui proses tersebut dengan segala risiko dan keuntungannya.

Placebos hadir sebagai masalah lain sehingga prosedur eksperimen pada manusia menjadi perhatian. Dalam sebuah standar penggunaan kontrol plasebo dalam praktik standar yang dilakukan ilmuwan melibatkan penggunaan kelompok eksperimen (dalam kasus ini adalah pasien yang diberikan obat) dan sebuah kelompok kontrol *plasebo* (dalam hal ini adalah pasien yang akan menerima sebuah plasebo, sebuah perlakuan yang aman namun tidak efektif misalnya sebuah pil gula atau injeksi garam). Dalam sebuah uji coba ganda buta secara acak, tidak satu pun pasien ataupun dokter yang melakukan perlakuan tersebut tahu siapa yang menerima obat sebenarnya dan siapa yang menerima placebo. *Informed consent* seharusnya memakai peranan dalam kasus ini. Meskipun penggunaan placebo merupakan bagian dari objektivitas ilmiah, namun kita harus tahu apakah hal tersebut pantas secara etika. Keobjektivan ilmiah mungkin tidak selalu menjadi pendekatan terbaik atau pendekatan etika.

4. Apa artinya menjadi manusia?

Dewasa ini banyak yang berdebat mengenai *stem cell* dan kloning yang berputar-putar pada status moral dari embrio manusia. Seperti yang kita ketahui *stem cell* merupakan mungkin menjadi terobosan yang hebat dalam pengobatan *regeneratif*, memungkinkan perbaikan atau pergantian dari jaringan yang rusak/terjangkit pada banyak penyakit misalnya penyakit jantung, stroke, *parkinson* dan diabetes. Seperti yang kamu ketahui ada banyak sumber yang memungkinkan dari *stem cell* misalnya embrionik sel punca, sel punca plasenta bahkan sel punca jaringan dewasa. Sumber-sumber dari sel punca tersebut dapat digunakan untuk mengesampingkan program ulang dari nukleus misalnya menginduksi sel punca pluripoten dari sel somatis manusia. Sel punca inilah yang menjadi pertanyaan ilmiah terkait dari kemampuan yang berbeda dari sel punca untuk mentransformasikan ke dalam tipe jaringan lain untuk memberi perlakuan pada suatu penyakit; bagaimanapun juga elemen kunci dalam perdebatan telah menjadi pertanyaan etika mengenai embrio sebagai sebuah sumber dari sel punca.

Dalam sebuah lingkungan, masih diperdebatkan apakah pantas merusak tahap awal embrio manusia untuk penelitian yang mungkin secara potensial memberikan keuntungan bagi ribuan pasien. Tidak seperti donor organ yang seorang individu mungkin mendonasikan salah satu atau sepasang organ ketika hidup atau setelah kematiannya, pengambilan sel punca ini akan merusak donor dalam hal ini embrio. Bagaimana pemanfaatan embrio yang merusak embrio manusia yang mungkin menguntungkan bagi banyak manusia?

Secara biologis, embrio merupakan makhluk hidup. Kita harus menimbang relevansi tonggak sejarah dari perkembangan yang berbeda yang menjadikannya dianggap sebagai manusia terhadap fakta sederhana, bahwa embrio merupakan sebuah anggota dari spesies kita sendiri. Secara biologis embrio adalah spesies manusia tetapi status moral pada embrio manusia melampaui biologis dan berputar-putar apa yang diistilahkan dengan *personhood*, yaitu istilah yang digunakan untuk mendefinisikan entitas yang mengkuilifikasikan perlindungan tidak didasarkan atas sebuah nilai intrinsik melainkan pada atributnya, misalnya kesadaran diri yang dimiliki manusia terkait dengan pemahaman kekurangan dan kelebihan diri.

Seseorang yang peduli dengan *personhood* akan bertanya atribut yang mana yang dihitung dalam mengevaluasi apakah makhluk hidup tertentu dapat dinilai sebagai manusia.

5. Informasi Genetik

Pembacaan Genom manusia sangatlah menguntungkan dan mampu berkontribusi dalam mendiagnosis banyak macam penyakit. Pengetahuan ini mengawali strategi untuk mengetahui susunan *genetic* manusia dan menyelesaikan permasalahan dalam penyakit akibat *respon genetic*. Satu sekuens DNA dapat menjadi identifikasi yang unik karena DNA kita mengandung segala macam informasi pribadi yang dapat dengan mudah dibaca sekarang ini. Hal ini didukung dengan perjalanan ilmu sains yang berkembang dengan pesat serta didukung dengan fasilitas, peralatan juga penelitian-penelitian yang mengarah ke human *genome project*. Ini mengundang banyak respon tidak hanya dari kalangan ilmuwan yang harus secara bijak memanfaatkan hasil penelitian ini serta melibatkan orang-orang di dalam penelitiannya. Ilmuwan juga harus meningkatkan kepercayaan dan kebijakan kepada rekan serta segala pihak yang memanfaatkan hasil penelitian ini.

Penelitian-penelitian yang mendiskusikan kontroversi-kontroversi yang muncul secara langsung kepada masyarakat yang ingin memanfaatkan tes secara genetik. Hal ini menjadi konsentrasi yang sangat signifikan bagi perusahaan-perusahaan, perusahaan asuransi, agen-agen pemerintah, dan segala pihak yang mempunyai persepsi bekerja demi pelayanan public. Kerahasiaan informasi genetik berkembang pesat menuntut dilakukannya usaha preventif untuk meningkatkan pelayanan di tahun-tahun mendatang. Pada tahun 2008 *House of representative pass bill H.R Amerika* telah mengeluarkan sebuah aturan yaitu GINA (*Genetic Information Nondiscrimination Act*), peraturan ini juga disetujui oleh senator dan presiden George W. Bush yang ikut menandatangani GINA sehingga memiliki dasar hukum.

6. Lebih banyak atau lebih sedikit manusia?

Salah satu contoh pertama dari terapi gen yang mengalami keberhasilan adalah menyelesaikan permasalahan Imuno defisiensi sindrom (SCID) pada anak-anak. Seseorang yang mengidap SCID terlahir dengan sistem kekebalan tubuh yang tidak efektif, hal ini terjadi akibat kerja gen yang tidak maksimal dalam sel imun. Kesuksesan terapi gen memunculkan bermacam alternatif seperti sistem sel dalam menyelesaikan permasalahan dan penyakit-penyakit. Bagaimanapun dampak dari munculnya berbagai penelitian yang belum diketahui kesuksesannya harus tetap mengedepankan konsentrasi/fokus, keselamatan dan efisiensi. Salah satu isu yang menarik adalah tentang kanker. Seperti yang telah didiskusikan pada bagian sebelumnya bahwa *adenovirus* digunakan dalam terapi gen leukemia pada beberapa anak. Konsekuensinya adalah perlu dikembangkan pengetahuan tentang terapi genetik terutama yang menggunakan virus sebagai vektor pembawanya. Jadi yang menjadi pertimbangan utama adalah kerusakan gen serta alternatif penyembuhannya dengan gen spesifik yang disisipkan dan mengganti gen target (Nurlita, 2009).

Sekarang ini telah dikembangkan terapi gen somatik yang melibatkan terapi pada penyakit yang ditimbulkan oleh sifat genetik. Bagaimanapun juga kita harus memiliki anggapan bahwa dapat terjadi kemungkinan dari perlakuan secara *genetic* dimana hanya pendekatan secara genetik dapat menyelesaikan penyakit yang timbul. Salah satu fakta adalah kanker payudara yang telah diidentifikasi terjadi mutasi yang mampu meningkatkan kerusakan dan berkembang semakin parah. Kita harus mampu membedakan antara penyakit *genetic* dengan karakteristik genetik. Penyakit genetik seperti SCID dapat diketahui dari seseorang yang mengalami permasalahan secara genetik dan berkembang sebagai penyakit. Bagaimanapun juga karakteristik genetik tidak berarti keadaan gen yang selalu mengalami penyakit. Jika kita masih mempermasalahkannya, kita tidak akan fokus pada perangkat genetik yang potensial dan mampu mengalami modifikasi yang dapat diterima tubuh dimana keadaan ini dapat digunakan sebagai alternatif pergantian komposisi *genetic* pada manusia.

Selain pergantian materi *genetic* pada tubuh individu, juga dapat meningkatkan masa otot, hal ini sering dianggap masalah kesehatan yang dapat ditangani secara medis. Karena gen manusia dapat dimodifikasi ke arah lebih dari normal, kita harus mempertimbangkan lagi pertanyaan tentang definisi dari hakikat manusia itu sendiri. Banyak pertanyaan-pertanyaan berkisar tentang doping gen pada atlet-atlet. Doping gen ini menggunakan terapi gen untuk modifikasi gen-gen demi kebutuhan olahraga yang dianggap sangat penting. Teknik-teknik rekayasa gen diaplikasikan pada hewan-hewan yang didemonstrasikan dengan kemampuan fungsi otot, peningkatan produksi sel darah dan stamina tubuh.

Pertanyaan yang semakin menekan manusia adalah tentang rekayasa pertumbuhan secara genetik yang semakin berkembang. Kasus ini pergantian genetik telah dilakukan pada sel sperma, sel telur, dan embrio awal. Hal ini disinyalir akan sangat efektif dibandingkan rekayasa genetik pada sel somatik karena teknik ini dapat mempengaruhi seluruh bagian tubuh makhluk hidup. Potensi yang dikembangkan adalah semakin mengurangi dampak dari penyakit secara genetik. Sebuah Nobel telah diraih oleh seseorang yang melakukan penelitian tentang topik ini dengan alasan penelitian ini mampu menjadi sarana menjadikan “manusia yang lebih baik” tetapi kita juga harus fokus pada kata “lebih baik” yang ada pada tujuan dan kasus tertentu saja. Segala macam kreasi serta perkembangan memunculkan manusia superior yang menjadi dasar dari Eugene. Hal ini merupakan potensi negatif yang dapat muncul dengan keluarnya pembagian kelas-kelas manusia berdasarkan genetik secara sosial. Dalam perdebatan panjang terkait etika dalam bioteknologi yang dapat memunculkan manusia superior akan menimbulkan banyak sisi negatif dalam penerapan bioteknologi dan menimbulkan kerusakan yang cepat dalam plasma nutfah dan keberagaman alami makhluk hidup terutama, jika diterapkan kepada manusia sebagai uji cobanya.

E. ATURAN PADA ASPEK EKONOMI, SAINS DAN KOMUNIKASI

Fakta yang terjadi bahwa permainan uang menjadi sangat dominan dalam berbagai penelitian yang ada. Berbagai macam kepentingan pribadi seperti pada pemerintah dan juga individu-individu serta perusahaan yang mengembangkan bioteknologi yang menguntungkan. Sekarang ini,

Bioteknologi menjadi bahan dasar bisnis. Tidak hanya dana penelitian yang mahal, tetapi proyek, perusahaan, staf ahli yang tergabung dalam sebuah penelitian memerlukan dana yang cukup besar. Keadaan ini tidak akan cukup hanya dengan mengajukan proposal penelitian pada salah satu fakultas di Universitas. Banyak universitas mengandalkan bantuan pihak swasta dan perusahaan terkait tentang penelitian-penelitian yang akan dilakukan. Dampak positif yang muncul jika segala macam penelitian ini berhasil dilakukan adalah perkembangan sains yang semakin pesat, penemuan hal baru, aplikasi yang sangat potensial mengenai kesehatan dan pengetahuan umum terhadap masyarakat. Fakta lain yang muncul bahwa keadaan ini tidak hanya dimanfaatkan untuk memenuhi kebutuhan dana namun juga untuk kepentingan tekanan politik dari kongres di Amerika.

Kebijakan dalam bioteknologi harus mengesampingkan keuntungan secara ilmiah yang dapat dihasilkan akibat penelitian ini, namun juga tingkat kesuksesan dengan munculnya brand merek tertentu yang sangat menguntungkan perusahaan bioteknologi. Perusahaan yang bergerak di bidang bioteknologi sangatlah diuntungkan dengan mengalirnya konsumen, investor baik asing maupun dalam negeri serta perkembangan jenis produk yang variatif.

Diskusi-diskusi dalam aspek ekonomi pada isu-isu terkini ketika terjadinya donor ovum untuk penelitian sistem sel. Pada bulan Juni 2009 New York menjadi daerah pertama yang mengalokasikan dana sebesar \$10.000 untuk masalah yang berkisar tentang kasus hormon. Pertanyaan dan diskusi yang muncul baik dari aspek ekonomi ataupun non ekonomi adalah :

- Apakah wanita harus dibayar ketika dia mendonorkan sel telurnya?
- Jika ya, maka berapa standar pembayarannya?
- Haruskah ditentukan batas seorang wanita melakukan donor sel telur pada setiap periodenya?
- Akankan dibuka pembayaran pada perusahaan-perusahaan terhadap wanita-wanita yang melakukan donor sel telur?

Hal yang sangat penting muncul ketika kita kembali pada tujuan bioteknologi untuk mensejahterakan hidup manusia serta meningkatkan kesehatannya. Bagaimana bioteknologi menjalankan perannya serta dapat

memberikan pelayanan terhadap masyarakat dalam ruang lingkup sains. Dalam kasus ini *bioetika* mampu menjadi kritik bioteknologi, bioteknologi berbasis industri, serta kepedulian atas kesehatan manusia dan pandangan masyarakat.

F. PERATURAN-PERATURAN YANG MENGATUR PERKEMBANGAN PRODUK-PRODUK BIOTEKNOLOGI

Bioetika di Indonesia bertujuan untuk memberikan pedoman umum etika bagi pengelola dan pengguna sumber daya hayati dalam rangka menjaga keanekaragaman hayati dan pemanfaatannya baik secara berkelanjutan, dan tidak. Pengambilan keputusan dalam meneliti, mengembangkan, dan memanfaatkan sumber daya hayati harus/wajib menghindari konflik moral dan seluas-luasnya digunakan untuk kepentingan manusia, komunitas tertentu, dan masyarakat luas, serta lingkungan hidupnya, dilakukan oleh individu, kelompok profesi, dan institusi publik atau swasta. Pemanfaatan sumber daya hayati tidak boleh menimbulkan dampak negatif terhadap harkat manusia, perlindungan, dan penghargaan hak-hak asasi manusia, serta lingkungan hidup. Penelitian, pengembangan, dan pemanfaatan sumber daya hayati harus memberikan keuntungan maksimal bagi kepentingan manusia dan makhluk hidup lainnya, serta meminimalkan kerugian yang mungkin terjadi (Meindrawan et al., 2017).

Berdasarkan Pasal 19 Keputusan Menristek No.112 Tahun 2009, harus dibentuk suatu Komite Etik Penelitian, Pengembangan dan Pemanfaatan Sumber daya Hayati yang bersifat independen, multidisiplin, dan berpandangan plural. Keanggotaan Komite Etik Penelitian, Pengembangan, dan Pemanfaatan Sumber daya Hayati harus terdiri dari para ahli dari berbagai departemen dan institusi yang relevan. Tindak lanjut dan implementasi prinsip-prinsip bioetika penelitian, pengembangan, dan pemanfaatan sumber daya hayati dilakukan oleh Komite Bioetika Nasional yang dibentuk oleh pemerintah dalam kelembagaan riset dan teknologi sebagai pengelola dari pemanfaatan yang ada (Paper Semnas Renper 2019, n.d.).

Setahun terakhir ini *issue bioteroris* menjadi fenomena baru yang muncul akibat banyaknya aksi teror yang terjadi pada saat teknik rekayasa genetika berkembang sangat pesat. Prestasi gemilang rekayasa genetika yang telah dicapai dibayangi penyalahgunaan oleh teroris. Kebebasan mengakses data genetika pada gen bank dikhawatirkan akan dimanfaatkan para teroris sebagai sarana menciptakan senjata yang berbahaya bagi keselamatan manusia. Presiden Amerika pada pertengahan tahun lalu telah menandatangani UU *bioterrorisme* yang mencakup kesanggupan Amerika terhadap kontrol zat biologi berbahaya dan racun, keselamatan dan keamanan pasokan makanan, obat-obatan dan air minum. Kekhawatiran penyalahgunaan data genetika ini diragukan karena tidak ada pakar yang mumpuni untuk mengubah informasi tersebut menjadi senjata berbahaya.

Database yang ada tidak dapat digunakan sebagai sarana untuk menciptakan bakteri atau virus pembunuh. Upaya menyembunyikan data genetika justru akan mendorong kepada sains yang membahayakan. Sebagai tindakan kewaspadaan, data-data akan diklasifikasikan khususnya data dari sejumlah organisme yang dikenal sangat berbahaya. Membuka akses publik terhadap data tersebut dianggap lebih banyak manfaat karena akan merangsang berbagai penelitian untuk mencapai kemajuan dari pada kerugiannya, seperti yang dikemukakan oleh Baber dalam Soeliongan, (2020) bahwa seorang ilmuwan tidak boleh menyembunyikan hasil penemuan apapun bentuknya dari masyarakat luas dan apapun yang menjadi konsekuensinya. Dalam menyikapi masalah bioteroris masyarakat diharapkan memahami setiap tahap perkembangan ilmu dan teknologi yang selalu memiliki nilai positif maupun negatif. Ilmu pengetahuan yang tidak dipergunakan sebagaimana mestinya tidak akan membawa berkah bagi kemanusiaan, bahkan dapat menjadi malapetaka di muka bumi karena pada dasarnya pengetahuan ditujukan untuk kemakmuran manusia dan kemanusiaan yang bijak dan arif dalam mengelola sumber daya alam yang ada (Soeliongan, 2020).

G. RANGKUMAN MATERI

Masalah komunikasi muncul ketika produk-produk bioteknologi yang ada di pasaran tidak dikomunikasikan secara terbuka. Secara umum masyarakat tidak mengerti dan tidak peduli tentang barang-barang yang

menjadi kebutuhannya setiap hari. Tanpa pemisahan dan manajemen yang baik, maka masyarakat akan terjebak terhadap beraneka macam produk. Hal ini tidak hanya berkaitan tentang bagaimana penelitian dan ilmuwan menemukan sesuatu namun juga bagaimana sains mengkomunikasikannya secara nyata sehingga secara moral dan etika diterima.

Banyak permasalahan dan pertanyaan yang muncul. hal ini tidak hanya berkaitan tentang hidup anda secara pribadi tetapi berkaitan dengan keselamatan kita semua. Namun, kebebasan menentukan hidup anda untuk memilih dan mencocokkan segala macam hal yang sesuai dengan anda. Dengan kebebasan yang didasarkan tanggung jawab maka anda akan menjadi dirimu sendiri.

TUGAS DAN EVALUASI

1. Haruskah kita memberikan tes genetik pada orang-orang yang mengalami kelainan sedangkan tidak ada cara efektif untuk menanggulangnya?
2. Apa keputusan awal yang diambil oleh ahli fisik dan ilmuwan untuk membuka rahasia hasil tes genetik yang melibatkan seseorang yang mengalami mutasi pada DNA dan tidak berhubungan dengan alasan-alasan hasil tes rasional secara umum?
3. Hasil negatif dari tes secara genetik cenderung tidak dilakukan penelitian berkelanjutan untuk mengetahui perkembangan penyakitnya., karena tidak hanya hasil positif dari tes secara genetik yang akan berkembang menjadi penyakit. Secara efektif kita mampu mengkomunikasikan hasil tes secara genetic tentang kecenderungan kerusakan yang akan timbul dari seseorang yang telah dilakukan tes.
4. Haruskah dilakukan tes kepada seseorang yang tidak mengalami penyakit namun berkaitan dengan genetik seperti kepandaian, warna kulit, tinggi dan berat badan?
5. Identifikasi yang telah dilakukan sangat berpotensi disebarluaskan sebagai data dari seseorang secara spesifik. Bagaimana sebuah alat elektronik dapat menjaga kerahasiaan rekam medis dari seorang pasien agar tidak terpublikasi?

DAFTAR PUSTAKA

- Fitri, Maharani. (2012). *Pengaturan etika dalam Bioteknologi*. (Online) <http://mailiatabita91.blogspot.com/2012/06/pengaturan-etika-dalam-bioteknologi.html>, diakses pada tanggal 4 April 2018.
- Nurfatoni, Mahmud. 2007. *Bioteknologi: Mempertanyakan Peranan Etika*. (Online) <http://pojokkata.wordpress.com/2007/08/03/99/>, diakses pada tanggal 4 April 2018.
- Nurlita. 2009. *Bioteknologi: Isu Etika*. (Online) <http://filzahazny.wordpress.com/2009/11/02/bioteknologi-isu-etika/>, diakses pada tanggal 4 April 2018.
- Meindrawan, B., Suyatma, N. E., Muchtadi, T. R., & Iriani, E. S. (2017). *Aplikasi Pelapis Bionanokomposit berbasis Karagenan untuk Mempertahankan Mutu Buah Mangga Utuh*. *Jurnal Keteknikan Pertanian*, 5(1), 89–97. <http://jai.ipb.ac.id/index.php/jtep/article/view/16532/12121>
- Paper Semnas Renper 2019*. (n.d.).
- Soeliongan, A. E. (2020). Urgensi Peraturan Bioterorisme di Indonesia dalam Perspektif Hak Asasi Manusia. *Jurnal HAM*, 11(2), 169. <https://doi.org/10.30641/ham.2020.11.169-184>
- Thieman, W. J., Palladino, M. A., (2013). *Introduction to Biotechnology 3th edition*. US: Pearson.



BAB
13

RESIKO BIOTEKNOLOGI

Dr. Muh. Sri Yusal, S.Si., M.Si.
STKIP Pembangunan Indonesia Makassar

A. PENDAHULUAN

Pada dasarnya manusia telah memanfaatkan dan menerapkan kegiatan bioteknologi selama beberapa abad sebelumnya, meskipun terbatas pada bioteknologi secara konvensional. Pada masa tersebut kegiatan atau penerapan bioteknologi dilaksanakan dalam skala kecil, yakni untuk pemenuhan kebutuhan sehari-hari dengan menggunakan peralatan yang sederhana. Hal tersebut berbeda dengan kegiatan bioteknologi saat ini yang lebih dikenal dengan bioteknologi modern, dimana kegiatan tersebut telah menggunakan peralatan yang sangat canggih dan produk yang dihasilkan telah digunakan untuk berbagai sektor kebutuhan manusia. Bioteknologi modern dapat diterapkan di berbagai bidang kehidupan, misalnya bidang pertanian, peternakan, perikanan, industri makanan, industri obat-obatan/farmasi, kedokteran, lingkungan, dan lain-lain.

Sejarah perkembangan bioteknologi menunjukkan bahwa pada periode 2000 tahun sebelum masehi, Bangsa Mesir telah menggunakan khamir/yeast untuk membuat roti dan wine, selain itu mereka telah melakukan pemuliaan pada hewan ternak, seperti angsa dan sapi untuk peningkatan produksi pangan warga Mesir. Pada periode yang sama,

bangsa Sumeria dan Babilonia telah membuat bir dan keju dengan menggunakan khamir/yeast. Pada periode 200 tahun sebelum masehi bangsa Cina menggunakan ekstrak bubur kedelai yang sudah berjamur untuk mengobati penyakit borok, selain itu bangsa tersebut telah menggunakan tepung bunga krisan untuk membasmi hama serangga (insektisida). Pada tahun 1500-1885 sesudah masehi merupakan periode yang diisi dengan penemuan-penemuan para ahli yang memprakarsai lahirnya bioteknologi modern, seperti penemuan mikroskop oleh A.V.Leeuwenhoek, vaksin oleh Edward Jenner, teknik pasteurisasi oleh Louis Pasteur, teknik pewarnaan beragam jenis bakteri oleh Christian Gram, penemuan virus mozaik pada tumbuhan oleh Ivanovsky, pengembangan teknik kultur invitro oleh Robert Koch, dan berbagai penemuan lainnya.

Risiko bioteknologi dapat diartikan sebagai suatu kemungkinan yang akan terjadi akibat adanya kegiatan bioteknologi. Risiko tersebut dapat menjadi hal yang baik atau bersifat menguntungkan, bahkan bisa menjadi hal yang buruk atau ancaman bagi kehidupan makhluk hidup atau lingkungan sekitarnya oleh adanya aktivitas-aktivitas atau usaha bioteknologi tersebut. Pada dasarnya kegiatan bioteknologi dilakukan untuk meningkatkan taraf hidup maupun kesejahteraan masyarakat umum, bahkan beberapa negara maju telah berhasil mengembangkan usaha bioteknologi yang mendatangkan keuntungan maupun pendapatan terbesar bagi negaranya. Bioteknologi mengalami perkembangan yang sangat cepat yang didukung oleh berbagai macam disiplin ilmu, seperti biologi molekuler, mikrobiologi, biokimia, genetika, enzimologi, ilmu pangan, biologi sel, imunologi, ekologi, lingkungan, bioinformatika, biofisika, biosensor dan fisiologi. Indonesia memiliki beberapa lembaga khusus yang menangani pengembangan bioteknologi di tanah air, seperti Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI), Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT), dan Lembaga Biologi Molekuler Eijkman.

Kemajuan dan perkembangan bioteknologi tidak terlepas dari beragam disiplin ilmu pendukungnya, bioteknologi modern telah berhasil melipatgandakan peningkatan produksi mikroorganisme penghasil zat aktif untuk teknik rekayasa genetika dan bahan dasar obat dalam industri farmasi maupun bidang kedokteran, produksi pakan ternak, penghasil probiotik, serta peningkatan produk pangan. Keuntungan lainnya adalah

terjadinya peningkatan produksi dari jenis mikroorganisme penghasil alkohol dan enzim tertentu. Pengetahuan biologi molekuler telah membantu peningkatan produk bioteknologi melalui pemanfaatan vaksin, teknik antibodi monoklonal, dan analisa diagnostik terhadap beberapa penyakit berbahaya ataupun pendeteksian dini terhadap kontaminasi mikroorganisme berbahaya dan bersifat patogen. Begitu pula dengan beberapa kemanfaatan disiplin ilmu lain yang telah memicu peningkatan kualitas produk bioteknologi dalam bidang pertanian/pangan, perikanan, peternakan, perindustrian dan kesehatan.

Krisis multidimensi yang terjadi di berbagai belahan dunia telah mendorong para ahli bioteknologi untuk mengembangkan bahan bakar alternatif (biofuel) sebagai jalan keluar dari krisis energi yang terjadi, produk tersebut diperoleh dari biji tanaman yang berbasis minyak nabati ataupun perolehan dari hasil fermentasi biji-biji tanaman yang berbasis etanol. Begitu pula di bidang lingkungan, pengetahuan biokimia dan ekologi telah membantu dalam menghasilkan produk bioteknologi untuk pengelolaan reklamasi lahan, pengurai pestisida, pengurai limbah industri, dan lain-lain.

Bab ke-13 ini telah disajikan beberapa penjelasan tentang resiko bioteknologi yang berupa dampak bioteknologi yang bersifat menguntungkan atau merugikan bagi kehidupan makhluk hidup dan lingkungannya. Kelebihan Bab 13 ini adalah adanya pembahasan secara lengkap tentang manajemen risiko (risk management) bioteknologi, aturan perundang-undangan yang mengatur tentang penggunaan bioteknologi, hak paten produk bioteknologi, serta regulasi nasional maupun internasional tentang kemungkinan akan munculnya dampak yang bersifat merugikan dari produk bioteknologi. Pada sesi akhir bab ini telah dilengkapi rangkuman dan sejumlah pertanyaan untuk mengevaluasi materi-materi yang sudah dijelaskan dan diuraikan sebelumnya.

B. MANAJEMEN RISIKO (RISK MANAGEMENT) BIOTEKNOLOGI

Segala bentuk aktivitas, kegiatan, atau usaha memiliki risiko tersendiri dan sangat susah untuk menghindarinya. Oleh karena itu diperlukan suatu usaha dalam mengelola atau memajemen risiko-risiko yang kemungkinan muncul dalam kegiatan bioteknologi. Pada dasarnya risiko dibedakan

menjadi dua macam, yaitu risiko murni (pure risks) dan resiko spekulatif (speculative risks).

1. Risiko murni (pure risks)

Risiko murni ialah jenis risiko yang pada umumnya mendatangkan kerugian dibandingkan keuntungan, bahkan jenis risiko ini sangat sulit untuk mendeteksi adanya beberapa keuntungan yang bisa didapatkan, seperti risiko kebakaran, kecelakaan, banjir atau bencana alam lainnya.

2. Resiko spekulatif (speculative risks)

Risiko spekulatif ialah jenis risiko yang memungkinkan adanya keuntungan maupun kerugian pada jenis usaha atau kegiatan tertentu, seperti kegiatan bisnis, pendirian PT, pembukaan warung, kegiatan industri rumah tangga, dan kegiatan bioteknologi dapat digolongkan ke dalam jenis risiko ini.

Setiap jenis usaha memiliki kadar risiko yang berbeda-beda, oleh karena itu diperlukan suatu manajemen risiko untuk mengelola setiap risiko yang akan muncul sehingga diperoleh suatu hasil yang memuaskan. Beberapa tahap yang dapat dilakukan dalam proses manajemen risiko:

1. Analisis risiko

Analisis risiko merupakan jenis kegiatan yang dilakukan dengan mengidentifikasi risiko-risiko yang kemungkinan akan muncul selama melakukan kegiatan tertentu. Salah satu teknik dalam mengidentifikasi risiko adalah dengan cara melakukan penelusuran terhadap sumber risiko yang menjadi penyebab sampai terjadinya peristiwa yang tidak diinginkan. Teknik identifikasi lainnya yang dapat dilakukan adalah dengan memperhatikan dan menganalisa sekuen dari sumber risiko sampai terciptanya peristiwa yang tidak diinginkan.

2. Pengukuran dan evaluasi risiko

Salah satu teknik yang dapat dilakukan dalam pengukuran risiko adalah dengan menghitung probabilitas (kemungkinan) risiko terhadap peristiwa yang tidak diinginkan terjadi. Teknik tersebut sangat membantu dalam menyeleksi prioritas risiko, sehingga lebih banyak memfokuskan diri pada risiko yang memiliki probabilitas yang tinggi. Teknik pengukuran yang lain

dapat dilakukan adalah dengan melakukan evaluasi dampak risiko yang terjadi terhadap kinerja usaha atau kegiatan yang sementara berjalan. Evaluasi risiko dilakukan untuk memudahkan dalam pemahaman terhadap berbagai karakteristik risiko yang terjadi, pemahaman yang baik juga cukup memudahkan dalam pengendalian risiko atas usaha/kegiatan yang dilakukan. Beberapa teknik dalam mengevaluasi risiko adalah dengan membuat matriks yang terdiri dari sumbu horizontal dan sumbu vertikal, dimana sumbu horizontal merupakan nilai probabilitas risiko. Adapun sumbu vertikal adalah tingkat konsekuensi risiko atau nilai kerugian yang timbul (*severity*). Matriks tersebut akan menunjukkan langkah-langkah yang paling efektif dalam proses penanganan risiko yang timbul. Teknik lain yang dapat dilakukan dalam mengevaluasi dampak risiko adalah dengan metode VaR (*Value at Risk*).

Value at Risk adalah suatu teknik analisis risiko secara statistik dengan melakukan perkiraan kerugian maksimum yang akan terjadi dalam jangka waktu tertentu, nilai VaR selalu disertai dengan tingkat probabilitas atas kerugian yang mungkin terjadi. VaR juga telah memperkirakan estimasi kemungkinan akan timbulnya kerugian yang jauh lebih besar dibandingkan dengan nilai kerugian yang telah diperkirakan sebelumnya. Hasil analisis tersebut merupakan hal yang tidak didapatkan dari beberapa metode pengukuran risiko lainnya. Oleh karena itu VaR dapat mengukur nilai maksimal atas kerugian yang mungkin akan terjadi pada hari esok, lusa, minggu depan, dan seterusnya sesuai dengan jangka waktu yang telah ditentukan.

3. Pengelolaan risiko

Langkah selanjutnya di dalam manajemen risiko setelah menganalisis dan evaluasi adalah dengan melakukan pengelolaan risiko dalam bentuk penghindaran, menahan (*retention*), diversifikasi, transfer risiko, pengendalian risiko, dan pendanaan risiko.

a. Penghindaran

Salah satu cara yang paling mudah dalam proses manajemen risiko adalah menghindari risiko yang mungkin akan terjadi, tetapi cara ini sangat tidak efektif, apabila kita ingin memperoleh manfaat atas segala

kegiatan yang telah dilakukan, maka kita harus berani menghadapi risiko tersebut kemudian mengelolanya dengan metode yang tepat

b. Menahan (*retention*)

Menahan risiko dapat diartikan sebagai langkah yang terukur dan penuh kehati-hatian dalam menghadapi atau menanggung sendiri atas kemungkinan terjadinya risiko yang bersifat tidak menguntungkan/merugikan.

c. Diversifikasi

Diversifikasi adalah langkah-langkah yang dilakukan dalam proses manajemen risiko dengan melakukan penyebaran eksposur yang telah dimiliki, sehingga tidak terkonsentrasi pada satu eksposur saja, melainkan dapat terfokus pada beberapa eksposur yang telah ada. Oleh karena itu, apabila terjadi situasi yang tidak menguntungkan, maka kerugian tersebut dapat di kompensasi dari keuntungan eksposur lainnya.

d. Transfer risiko

Transfer risiko merupakan usaha yang dilakukan dengan mengalihkan tanggungan risiko kepada pihak-pihak lain. Hal tersebut dilakukan, apabila merasa tidak mampu menanggung atas kemungkinan risiko-risiko besar yang akan terjadi, misalnya melakukan kerja sama dengan pihak asuransi untuk menanggung atas segala risiko yang terjadi.

e. Pengendalian risiko

Pengendalian risiko adalah jenis metode yang paling tepat dalam mengelola risiko yang akan terjadi, metode tersebut dilakukan melalui pencegahan atau menurunkan probabilitas adanya risiko yang bersifat merugikan.

f. Pendanaan risiko

Pendanaan risiko adalah salah langkah dalam manajemen risiko dengan melakukan persiapan sejumlah dana untuk membiayai segala kemungkinan terjadinya risiko yang bersifat yang merugikan atau tidak menguntungkan.

C. DAMPAK MENGUNTINGKAN KEGIATAN BIOTEKNOLOGI

Beragam produk bioteknologi telah bermanfaat bagi manusia dalam memenuhi kebutuhan hidupnya, seperti roti, brem, keju, tempe, kecap, yogurt, bir, anggur, sake, tape, kefir, tape, vitamin dan lain-lain. Produk-produk bioteknologi di bidang kesehatan juga sudah mulai dirasakan manfaatnya oleh masyarakat dalam mencegah maupun menyembuhkan beberapa jenis penyakit. Produk-produk yang dimaksudkan di sini adalah vaksin, obat-obatan, interferon, antibodi monoklonal, dan lain-lain. Pada sektor pertanian, produk-produk bioteknologi yang dihasilkan, seperti tanaman hibrida juga sudah mulai dirasakan kegunaannya oleh masyarakat, dimana produk-produk yang dihasilkan adalah jenis varietas yang unggul dan tahan terhadap hama/penyakit. Begitu pula pada sektor lingkungan, pemanfaatan bioteknologi digunakan untuk mengurangi kadar pencemaran dalam suatu wilayah dengan menggunakan sistem bioremediasi.

Bioteknologi memiliki beberapa manfaat yang secara signifikan dapat meningkatkan dan mengendalikan kualitas mutu lingkungan. Bioteknologi modern saat ini dapat diterapkan ke dalam pengelolaan bahan pencemaran (limbah) dari berbagai sumber. Proses rehabilitasi dan pengelolaan dengan menggunakan aplikasi bioteknologi adalah salah satu teknik yang bersifat mengamankan atau menyelamatkan dari limbah-limbah buangan serta menghasilkan sistem pendaur ulangan yang efektif, sehingga menciptakan sumber energi baru. Pencemaran perairan akibat tumpahan minyak telah berdampak buruk terhadap biota-biota (organisme) yang hidup di lautan, keadaan ini juga memerlukan waktu yang cukup lama untuk membersihkan tumpahan tersebut. Penggunaan aplikasi bioteknologi dalam menyelesaikan permasalahan lingkungan tersebut adalah suatu hal yang sangat tepat, mengingat bioteknologi memiliki beberapa konsep penyelesaian yang tepat guna di bidang lingkungan tanpa memerlukan waktu yang cukup lama.

Aplikasi bioteknologi dapat diterapkan dalam skala yang kecil sehingga tidak memerlukan dana yang cukup besar, hal ini dapat diterapkan pada negara-negara yang belum maju atau negara berkembang. Bioteknologi modern yang menggunakan peralatan yang canggih pun dapat diadaptasikan dari segi penggunaan ataupun pengoperasiannya tanpa

mengorbankan kualitas hasil produksi, sehingga hal ini tidak membutuhkan dana dan infrastruktur yang besar.

1. Keunggulan bioteknologi di bidang industri makanan

Bioteknologi memiliki peran penting dalam bidang industri makanan atau pangan. Pada umumnya produk-produk yang diciptakan dalam kegiatan bioteknologi tersebut dihasilkan melalui proses fermentasi. Beberapa produk hasil fermentasi tersebut disajikan ke dalam tabel berikut:

No	Bahan Baku	Inokulum/jenis mikroorganisme	Produk
1	Tepung gandum	Khamir/yeast (<i>Saccharomyces cerevisiae</i>)	Roti
2	Kedelai	<i>Rhizopus oligosporus</i>	Tempe
3	Kedelai	<i>Aspergillus wentii</i>	Kecap
4	Kedelai	<i>Aspergillus oryzae</i>	Tauco
5	Kedelai/kacang tanah	<i>Neurospora crassa</i> <i>Neurospora sitophilla</i>	Oncom
6	Susu	<i>Streptococcus lactis</i>	Keju
7	Susu	Jenis bakteri asam laktat	Mentega
8	Air kelapa	<i>Acetobacter xylinum</i>	Nata de coco
9	Wine	Khamir/yeast (<i>Saccharomyces cerevisiae</i>)	Anggur
10	Susu	<i>Lactococcus lactis</i> <i>Lactobacillus kefir</i>	Kefir
11	Susu	<i>Lactobacillus bulgaricus</i>	Yogurt
12	Bubuk jagung/singkong/tebu	<i>Corynebacterium glutamic</i>	Penyedap rasa Monosodium Glutamat (MSG)
13	Molasses/jenis jeruk	<i>Aspergillus niger</i>	Penyedap rasa
14	Singkong/ubi kayu	<i>Aspergillus oryzae</i>	Enzim amilase
15	Beras ketan/singkong	<i>Saccharomyces sp</i>	Tape beras/singkong
16	Susu, nutrisi agar	<i>Bacillus subtilis</i> <i>Aspergillus oryzae</i>	Enzim protease

17	Bubuk sekam padi	<i>Trichoderma reesei</i>	Enzim selulase
18	Tepung kasar gandum	<i>Mucor pusillus</i>	Enzim renin
19	Ekstrak kulit kakao	<i>Aspergillus niger</i>	Enzim pektinase
20	Ampas tepung sagu	<i>Aspergillus niger</i>	Enzim Amilglukosidase

Keunggulan yang dimiliki oleh hasil produksi bioteknologi dari proses fermentasi adalah dihasilkannya produk-produk dengan nilai kandungan gizi yang sangat dibutuhkan oleh tubuh manusia, selain itu tidak memerlukan peralatan yang canggih dalam proses pembuatan sampai terciptanya suatu produk. Oleh karena itu tidak diperlukan biaya yang sangat besar dalam proses produksi bioteknologi tersebut.

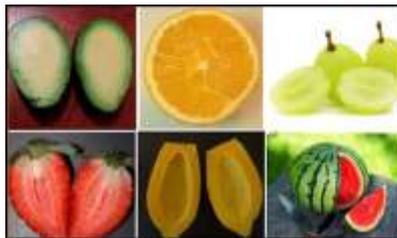
2. Keunggulan bioteknologi di bidang pertanian

Kegiatan bioteknologi dalam bidang pertanian telah memberikan manfaat yang sangat besar bagi manusia, dimana produk yang dihasilkan memiliki sifat-sifat yang unggul, mudah dibudidayakan dan dikembangkan, memiliki tingkat produksi panen yang tinggi, serta tahan terhadap hama dan penyakit tanaman. Selain unggul dalam hal kualitas dan tingkat produktivitas yang tinggi pada hasil panen, produk bioteknologi di bidang pertanian juga dirancang untuk tahan terhadap herbisida, tahan terhadap kondisi lingkungan yang kering atau mengandung kadar garam yang tinggi. Saat ini tanaman transgenik hasil produksi bioteknologi telah dilengkapi vaksin dan unsur nutrisi penting bagi tubuh manusia, sehingga produk tersebut sangat cocok diaplikasikan terhadap negara-negara miskin untuk mencegah terjadinya bencana kelaparan, penyakit kekurangan gizi, wabah penyakit menular, dan lain-lain. Berikut ini adalah beberapa produk bioteknologi pertanian yang bersifat unggul dan telah dirasakan manfaatnya dalam kehidupan manusia:

- a. Tanaman poliploid, yaitu jenis tanaman produk bioteknologi yang mengandung hormon pertumbuhan tinggi yang dapat mengubah tumbuhan dari bersifat diploidi menjadi poliploidi, sehingga dihasilkan buah yang banyak, tanpa biji dan memiliki ukuran sangat besar, misalnya jenis pepaya tanpa biji atau buah tomat dan lombok raksasa.
- b. Kultur jaringan (kultur invitro), yaitu teknik pengembangbiakan secara vegetatif buatan dengan memperbanyak atau menumbuhkan jaringan

di wadah kaca (material tembus pandang) atau di dalam laboratorium tanpa gangguan dari organisme lain (bersifat aseptis). Teknik kultur invitro menghasilkan keragaman genetik yang bersifat unggul, bibit tanaman yang tahan terhadap hama dan penyakit, tahan terhadap kondisi kering ataupun garam yang tinggi, dan memiliki siklus yang pendek serta perolehan bibit tanaman yang cepat. Hal ini tidak didapatkan pada tanaman yang tumbuh secara alami, dimana memerlukan waktu yang cukup lama dari proses pertumbuhan dari biji, dewasa, dan sampai periode berbunga. Berikut ini adalah fungsi dari kultur jaringan:

- 1) Propagasi klonal, yaitu menghasilkan keturunan yang identik dengan induknya atau memiliki keseragaman sifat yang tinggi.
- 2) Sebagai sumber pemuliaan tanaman, seperti seleksi, kultur anther atau polen, fusi protoplas, dan kultur protoplas.
- 3) Memperoleh tanaman yang bebas dari virus, karena berasal dari eksplan yang bebas virus.
- 4) Menghasilkan metabolisme sekunder, yaitu munculnya sifat totipotensi yang tidak terbatas pada struktur, tetapi memiliki kemampuan dalam mensintesis bahan kimia alami.
- 5) Sebagai sumber pelestarian plasma nutfah



Gambar 13.1 Jenis buah-buahan tanpa biji hasil poliploid

Sumber: nizarza.blogspot.com

- c. Tanaman transgenik, yaitu produk bioteknologi modern dari hasil rekayasa genetika yang menghasilkan tanaman dengan tingkat produktivitas dan kualitas yang tinggi dan resisten terhadap hama, penyakit atau herbisida yang diproduksi oleh tanaman itu sendiri. Oleh

karena itu produk tersebut sangat membantu masyarakat dalam menekan biaya produksi dan pembelian insektisida/herbisida. Beberapa tanaman transgenik telah beredar di Indonesia, seperti kapas, kedelai dan jagung.



Gambar 13.2 Beberapa jenis produk bioteknologi hasil transgenik
Sumber: ekbis.sindonews.com

- d. Tanaman hidroponik, yaitu teknik penumbuhan tanaman dengan menggunakan kultur air yang ditambahkan berbagai macam unsur-unsur nutrisi yang berguna bagi pertumbuhan dan perkembangan bagi tanaman kultur. Metode ini sangat cocok diterapkan di daerah perkotaan yang memiliki lahan yang sangat sempit, keunggulan lainnya adalah penerapannya sangat mudah dan sederhana, bisa dilakukan di atas gedung-gedung tinggi, dan proses panen yang relatif cepat.



Gambar 13.3 Jenis tanaman hidroponik
Sumber: pengertianku.net

- e. Tanaman aeroponik, yaitu teknik penumbuhan tanaman dengan pemberdayaan udara, dimana akar tanaman dibiarkan menggantung, sedangkan sprinkler (pengabut) berfungsi menyalurkan unsur-unsur nutrisi ke akar tanaman dalam bentuk kabut. Salah satu keunggulan

metode tersebut adalah sangat cocok diterapkan di daerah perkotaan yang saat ini memiliki ketersediaan lahan yang terbatas. Keunggulan lain dari sistem aeroponik adalah adanya peningkatan pertumbuhan dan kecepatan metabolisme karena akar yang berada di udara (kondisi tergantung) akan memiliki serapan oksigen yang tinggi dan tidak mengalami kehilangan air akibat tidak terlaksananya proses transpirasi.



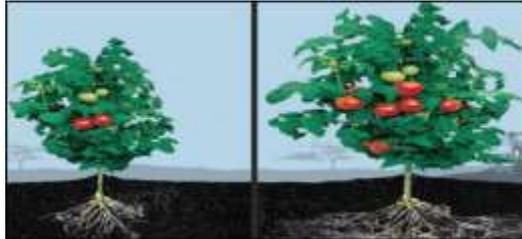
Gambar 13.4 Jenis tanaman aeroponik
Sumber: idntimes.com

- f. Produk bioinsektisida, yaitu pemanfaatan jenis bakteri atau jamur tertentu, seperti *Bacillus thuringiensis* untuk menekan pertumbuhan larva/ulat yang merugikan tanaman budidaya. Saat ini beberapa negara telah menerapkan penggunaan bioinsektisida dan beralih dari insektisida yang menghasilkan jenis-jenis pencemaran berbahaya bagi lingkungan hidup.



Gambar 13.5 Penggunaan bioinsektisida jenis jamur *Beauveria bassiana*
Sumber: beauveria-bassiana.blogspot.com

- g. Mikoriza, yaitu penggunaan jenis-jenis jamur tertentu yang membantu tanaman dalam menyerap unsur-unsur hara yang dibutuhkan dalam proses pertumbuhan dan perkembangannya.



**Gambar 13.6 A) Pertumbuhan tomat tanpa mikoriza;
B) Pertumbuhan tomat dengan mikoriza**

Sumber: 8villages.com

Oleh karena itu, beberapa keunggulan bioteknologi di bidang pertanian dapat disimpulkan sebagai berikut:

- a. Tercipta keanekaragaman plasma nuftah yang tinggi
- b. Tersedianya sumber pemuliaan tanaman yang lebih banyak
- c. Menghasilkan sumber genetik baru
- d. Mereduksi kegagalan panen
- e. Menghasilkan varietas baru dengan sifat-sifat yang diinginkan dan menghilangkan sifat-sifat yang tidak diinginkan
- f. Tersedia varietas baru bervariasi atau beraneka macam sifat baru
- g. Menghasilkan kultivar baru
- h. Mempermudah melakukan replanting dalam musim tanam yang sama
- i. Peningkatan produksi panen
- j. Menghasilkan produk pembasmi hama dan penyakit yang ramah lingkungan
- k. Mempermudah proses panen dan pasca panen
- l. Hasil produksi dapat disimpan dalam jangka panjang
- m. Tidak membutuhkan lahan yang banyak sehingga mempermudah dalam proses budidaya
- n. Menghasilkan varietas baru yang mampu bertahan pada kondisi lingkungan yang ekstrem.

3. Keunggulan bioteknologi di bidang peternakan

Pemanfaatan bioteknologi di bidang peternakan telah menghasilkan produk-produk yang bermanfaat dalam kehidupan manusia, seperti penerapan bioteknologi yang menghasilkan obat, pakan, hormon pertumbuhan ternak, dan vaksin. Selain itu, bioteknologi bidang peternakan telah menghasilkan hewan hibrid yang mampu meningkatkan produksi daging, telur, dan susu. Hewan hibrid juga dapat meningkatkan mutu dan kualitas produksinya ke tingkat yang lebih baik sehingga dapat bersaing dengan pasaran nasional maupun internasional. Beberapa penerapan bioteknologi di bidang peternakan, yaitu:

- a. Kloning (transplantasi nukleus), yaitu pemanfaatan bioteknologi modern dalam menghasilkan spesies baru yang mirip dengan induk yang dikehendaki. Kegiatan ini pernah dilakukan di luar negeri dan berhasil menciptakan hewan yang mirip dengan induk asal (tetua), hewan hasil kloning tersebut diberi nama domba dolly. Adapun tujuan utama dari proses kloning adalah untuk menghasilkan beberapa organ-organ tubuh hewan dan manusia untuk kepentingan transplantasi dalam proses penyembuhan suatu penyakit tertentu.



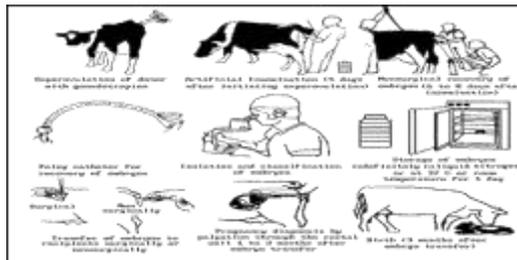
Gambar 13.7 Domba dolly hasil kloning di Skotlandia
Sumber: nationalgeographic.grid.id

- b. Inseminasi buatan (kawin suntik), yaitu teknik penggunaan sperma yang telah dicairkan dan telah diproses terlebih dahulu untuk disuntikkan ke dalam saluran kelamin ternak betina dengan menggunakan peralatan dan metode tertentu.



Gambar 13.8 Proses inseminasi pada hewan ternak
Sumber: BoganiNews.com

- c. Transfer embrio, yaitu teknik transfer sperma dari ternak jantan atau sel telur dari ternak betina yang dimasukkan ke dalam sapi resepien atau dibekukan untuk sementara waktu yang akan ditransfer pada lain kesempatan



Gambar 13.9 Mekanisme transfer embrio pada hewan ternak
Sumber: mydokterhewan.blogspot.com

- d. Rekayasa genetik (rekombinan DNA), yaitu suatu teknik dalam produk bioteknologi modern yang meliputi kloning gen, manipulasi gen, dan modifikasi genetik dengan mengidentifikasi, mengisolasi, replikasi, modifikasi, transfer genetik dan melipatgandakan fragmen tertentu dari material genetik (DNA) dari sel jaringan ataupun organ sel induk.

Adapun tujuan utama proses rekayasa genetik:

- 1) Meningkatkan penyediaan bahan-bahan genetik yang dapat digunakan dalam industri, pertanian, peternakan ataupun sebagai bahan pengobatan.
- 2) Mengembangkan produksi peternakan agar memperoleh banyak sifat unggul
- 3) Mempermudah dalam proses pertukaran gen dari suatu spesies ke spesies lainnya
- 4) Melestarikan hewan-hewan yang terancam kepunahan
- 5) Memudahkan dalam proses modifikasi hasil produksi hewan ternak.

Salah satu produk rekayasa genetik di bidang peternakan adalah hewan transgenik yang dapat memproduksi susu dengan kandungan unsur-unsur nutrisi tertentu, sehingga dapat digunakan sebagai pengobatan/perawatan penyakit.

4. Keunggulan bioteknologi di bidang kedokteran/kesehatan

Berbagai kemajuan yang dialami bioteknologi di bidang kesehatan telah melahirkan produk-produk yang berfungsi sebagai penghasil enzim, vitamin, unsur-unsur nutrisi, bahkan dapat digunakan sebagai pengobatan penyakit tertentu. Beberapa penemuan atau produk yang bermanfaat di bidang kesehatan:

- a. Mikroorganisme penghasil vitamin. Para ahli bioteknologi di Jerman berhasil menemukan senyawa kimia cobaltaminea (vitamin B1) dari biakan bakteri tertentu. Vitamin B1 sangat bermanfaat dalam proses pembentukan darah.
- b. Agen hayati penghasil enzim pencernaan. Para ahli bioteknologi di Jepang telah berhasil memproduksi enzim pencernaan untuk mengobati penyakit diabetes melitus.
- c. Penemuan vaksin untuk mengobati penyakit tertentu. Beberapa kemajuan di bidang bioteknologi telah berhasil menemukan vaksin untuk mengobati penyakit yang mematikan akibat infeksi virus tertentu, misalnya vaksin untuk mencegah penularan wabah infeksi virus covid-19, dimana saat ini wabah penyakit akibat virus tersebut telah menyebabkan ratusan ribu orang telah meninggal dunia dan telah

melumpuhkan sektor perekonomian maupun berbagai sektor lainnya di berbagai belahan dunia.

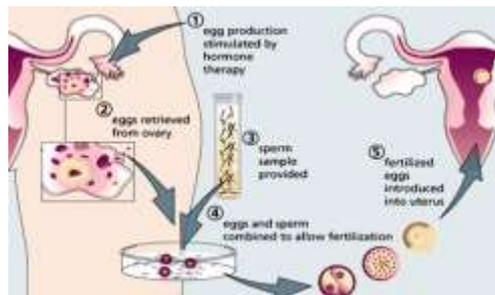
d. Mikroorganisme penghasil antibiotik. Beberapa kemajuan bioteknologi telah menghasilkan antibiotik untuk mengobati dan menghambat beragam penyakit yang disebabkan oleh infeksi mikroorganisme. Berikut ini beberapa jenis antibiotik beserta sumbernya:

- 1) Streptomisin, jenis antibiotik ini berasal dari *Streptomyces griseus*.
- 2) Kloromisetin atau kloromfenikol, jenis antibiotik yang dihasilkan oleh *Streptomyces venezuelae*.
- 3) Penisilin, jenis antibiotik yang dihasilkan oleh *Penicillium notatum* atau *Penicillium chrysogenum*.
- 4) Tetrasiklin, dihasilkan oleh *Streptomyces aureofaciens*.
- 5) Sefalosporin, dihasilkan oleh Cephalosporin (sejenis fungi).

e. Teknologi hibridoma (fusi sel)

Hibridoma adalah suatu teknik dalam mempersatukan dua sel yang berasal dari jaringan yang berbeda pada spesies yang sama/berbeda sehingga dihasilkan sel tunggal yang hibrid. Proses pengembangan dari sel tunggal tersebut akan didapatkan triliunan sel yang terdiri satu set gen komplit dari dua sel induk. Sel hibrid yang dilebur ke dalam sel kanker, maka akan diperoleh peningkatan produksi antibodi dan hormon. Hibridoma berasal dari dua suku kata, hibrid: sel yang asli; sedangkan oma: kanker. Jadi hibridoma adalah sel hibrid yang dilebur ke dalam sel kanker, adapun tujuan dari penerapan hibridoma, yaitu 1) menciptakan antibodi dan hormon dalam jumlah banyak, sehingga dapat dimanfaatkan dalam proses diagnostik dan terapeutik; dan 2) menghasilkan keturunan dengan sifat-sifat yang diinginkan melalui sistem penyisipan, penyilangan, dan pemotongan secara genetik pada sel-sel eukaryotik yang tidak didapatkan pada peleburan sel kelamin (gamet) secara seksual.

- f. Teknologi Antibodi Monoklonal (TAM), yaitu suatu teknik penggunaan sel-sel antibodi dalam melakukan pendeteksian, lokalisasi, dan kuantitasi. Pada saat ini TAM dapat diaplikasikan untuk mendeteksi beragam penyakit, kanker, ataupun sebagai tes kehamilan.
- g. Teknik bayi tabung (fertilisasi invitro), Bayi tabung merupakan hasil pembuahan yang dilakukan di luar tubuh manusia, dimana sel sperma sang suami dan sel telur istri difertilisasikan di dalam cawan petri atau tabung (invitro). Hasil pembuahan (fertilisasi) tersebut dikembalikan ke rahim istri yang kemudian akan mengandung dan melahirkan seorang anak. Teknik fertilisasi invitro ini sangat membantu bagi pasangan yang belum memiliki seorang anak akibat kelainan saluran kelamin pada wanita atau sesuatu penyebab lainnya sehingga memungkinkan terjadinya kesulitan dalam proses fertilisasi.



Gambar 13.10 Mekanisme teknik bayi tabung
Sumber: dr-aysay.blogspot.com

5. Keunggulan bioteknologi di bidang farmasi

Beragam produk bioteknologi di bidang farmasi telah mendatangkan manfaat yang luar biasa bagi kehidupan manusia, dimana produk-produk tersebut telah lama diaplikasikan oleh manusia sejak dari beberapa abad dahulu sampai sekarang. Aplikasi bioteknologi di bidang farmasi telah menghasilkan berbagai macam obat dan enzim yang sangat bermanfaat di bidang kedokteran ataupun kesehatan. Beberapa produk seperti antibiotik dan vaksin digunakan untuk menyembuhkan atau mencegah penyakit akibat infeksi virus atau mikroorganisme lainnya. Penemuan vitamin maupun enzim telah digunakan untuk kekebalan tubuh (imunitas),

pembentukan darah, dan perawatan atau penyembuhan dari penyakit tertentu.

Berikut ini adalah jenis-jenis produk bioteknologi di bidang farmasi:

- a. Penisilin (Penicillin/PCN), yaitu jenis antibiotik yang berupa β -laktam untuk penyembuhan penyakit infeksi akibat bakteri. Penisilin ini diperoleh dari fungi *Penicillium chrysogenum* dan *Penicillium notatum* (fungi/kapang biru muda) yang dapat dibiakkan pada jenis roti yang sudah tersimpan berhari-hari.
- b. Streptomisin, merupakan jenis antibiotik yang berasal dari fungi *Streptomyces griseus*. Streptomisin dimanfaatkan dalam pengobatan penyakit TBC.
- c. Sefalosporin, merupakan jenis antibiotik yang diperoleh dari fungi *Cephalosporium acremonium*. Jenis antibiotik tersebut dimanfaatkan dalam pengobatan radang paru-paru (penyakit Pneumonia).
- d. Asam amino, merupakan unsur nutrisi penting yang diperoleh dari bakteri *Corynebacterium glutamicum*. Jenis-jenis asam amino sangat berguna dalam pemenuhan gizi dan kesehatan manusia, industri kimia, industri pangan, dan lain-lain

6. Keunggulan bioteknologi di bidang lingkungan

Pemanfaatan bioteknologi di bidang lingkungan telah memberikan andil yang sangat besar terhadap penyelesaian berbagai permasalahan lingkungan yang telah terjadi saat ini, selain itu pengembangan keilmuan dan teknologi di bidang lingkungan telah menghasilkan beberapa produk bioteknologi yang bersifat ramah lingkungan sehingga pelestarian lingkungan tetap terjaga sebagai suatu warisan yang berharga bagi generasi yang akan datang. Pemakaian teknik bioremediasi dalam penyelesaian masalah-masalah lingkungan adalah langkah yang sangat tepat dan efektif, mengingat teknik tersebut telah menggunakan bakteri dan enzim dalam menguraikan molekul-molekul organik maupun anorganik yang terkandung di berbagai macam jenis limbah. Adapun beberapa tujuan penggunaan bioremediasi lingkungan, yaitu 1) dapat digunakan untuk mengatasi bahan buangan beracun di lingkungan; 2) penggunaan bioremediasi untuk membersihkan tumpahan minyak di perairan; 3) penggunaan bioremediasi untuk membersihkan residu pestisida; 4) penggunaan bioremediasi untuk

membersihkan lahan-lahan bekas pertambangan, dan lain-lain. Pada saat ini telah dikembangkan berbagai produk bioteknologi penghasil energi yang bersumber dari limbah rumah tangga, limbah pertanian, maupun peternakan.

Berikut ini adalah beberapa penerapan bioremediasi yang dapat bermanfaat secara langsung dalam bidang lingkungan:

a. Teknik pengolahan limbah cair

Limbah cair yang berupa zat organik (protein, lemak, dan karbohidrat) dapat difermentasikan oleh jenis metano bakterium sehingga menghasilkan bahan bakar biogas

b. Teknik pengolahan limbah padat

Jenis limbah padat yang berupa sampah dapat difermentasikan menjadi pupuk kompos dengan bantuan bakteri aerob atau anaerob

c. Plastik Biodegradable

Plastik Biodegradable merupakan jenis produk bioteknologi yang berupa plastik mudah terurai dari hasil produksi bakteri *Aureobasidium pullulans* atau *Alxaligenes eutrophus*.

d. Pengolahan jenis limbah minyak

Jenis *Pseudomonas* dapat dimanfaatkan untuk membersihkan senyawa hidrokarbon pada peristiwa tumpahan minyak bumi melalui pemecahan ikatan hidrokarbon dalam minyak.



Gambar 13.11

Penanggulangan pencemaran limbah minyak dengan teknik bioremediasi

Sumber: e-biologi.com

7. Keunggulan bioteknologi di bidang pertambangan (biometalurgi)

Salah satu produk bioteknologi dalam bidang pertambangan adalah teknik pemisahan logam dari bijihnya melalui pemanfaatan bakteri kemolitotrof (*Thiobacillus ferroxidans*). Bakteri tersebut memperoleh energi dari hasil oksidasi senyawa anorganik, yaitu unsur besi dan belerang. Oleh karena itu Asam sulfat yang diperoleh dari besi sulfat dapat dimanfaatkan untuk melarutkan logam dari bijihnya.

8. Keunggulan bioteknologi di bidang sosial

Beberapa penerapan produk bioteknologi telah digunakan dalam pemecahan kasus di bidang sosial, misalnya kasus perebutan anak atau orang tua kandung di pengadilan, kasus pembunuhan, pelacakan pencurian dan lain-lain. Beberapa kasus tersebut dapat diselesaikan melalui serangkaian tes DNA yang diisolasi dari selnya, kemudian terdeteksi melalui gambaran enzim restriksi yang merupakan ciri khas setiap manusia.

D. DAMPAK MERUGIKAN KEGIATAN BIOTEKNOLOGI

Kegiatan bioteknologi memberikan manfaat di berbagai bidang kehidupan dan sekaligus mendatangkan dampak yang merugikan bagi manusia. Dampak negatif tersebut dapat dilihat pada kegiatan pemuliaan tanaman, dimana peningkatan produktivitas tidak diikuti dengan peningkatan unsur nutrisi penting lainnya. Hal tersebut terjadi dalam aktivitas pemuliaan tanaman kedelai yang menghasilkan produktivitas yang tinggi, tetapi berdampak terhadap penurunan unsur protein atau unsur lainnya. Kegiatan bioteknologi juga dapat memicu terjadinya perubahan sosial, etika dan budaya. Beberapa produk hasil rekayasa genetika menimbulkan keresahan karena terjadinya proses penyisipan gen-gen tertentu yang berasal dari organisme lain. Sumber gen tersebut menjadi pertentangan karena berkaitan dengan etika, budaya, adat, norma, maupun agama. Begitu pula produk bioteknologi di bidang farmasi, pertanian, pangan, kesehatan, dan lingkungan yang menimbulkan kekhawatiran akan adanya jurang pemisah antara si kaya dan si miskin, karena adanya hak paten atas kepemilikan produk bioteknologi. Hak paten terhadap produk obat hasil rekayasa genetika menjadi penghalang besar

bagi akses perawatan masyarakat miskin karena membutuhkan biaya yang sangat besar

Begini pula bagi negara-negara miskin atau negara berkembang yang memiliki keanekaragaman hayati yang sangat tinggi hanya menjadi obyek penyimpanan atau pemasok sumber genetik dunia. Pada umumnya negara berkembang adalah negara tropis yang merupakan sumber genetik untuk meningkatkan mutu dan produktivitas jenis-jenis tanaman, penghasil bahan baku berbagai produk bioteknologi, ataupun bahan baku beragam jenis obat. Negara-negara tersebut kalah bersaing dengan serbuan produk bioteknologi modern, sementara mereka juga menggantungkan penghasilannya dari ekspor tanaman atau bahan-bahan baku alamiah lainnya. Seharusnya negara miskin atau berkembang memperoleh pembagian keuntungan yang rasional, mengingat sumber daya genetik yang dibutuhkan dalam produk rekayasa genetik adalah sebagian besar berasal dari negara tersebut. Selain dari dampak ekonomi, pengembangan berbagai produk bioteknologi di negara berkembang/miskin telah berdampak buruk di bidang sosial, hukum, lingkungan, kesehatan, dan bidang-bidang lainnya.

Pada umumnya keuntungan ataupun keunggulan berbagai produk bioteknologi di bidang pertanian tidak memiliki pengaruh bagi negara berkembang atau negara miskin, mengingat negara-negara tersebut menerapkan kegiatan pertanian dalam skala kecil atau terbatas pada anggota keluarga saja. Oleh karena itu penerapan hak paten terhadap beberapa produk bioteknologi akan menimbulkan kesenjangan yang sangat luas antara petani tradisional dengan petani modern. Secara perlahan, pertanian akan dikuasai oleh investor-investor yang bermodal besar dan petani tradisional mulai tersingkirkan karena hanya memiliki modal yang kecil. Berdasarkan hal tersebut, kegiatan bioteknologi bukannya membantu pendapatan petani tradisional, tetapi justru menambah beban hidup atau menjerumuskannya ke lembah kehidupan yang semakin sulit. Kegiatan bioteknologi juga membawa ketergantungan yang besar bagi petani terhadap benih-benih yang bersifat unggul, meskipun dengan harga yang mahal atau konsekuensi pemakaian benih yang berlaku satu kali.

Hasil pengklonan atau produk rekayasa lainnya berpotensi besar memunculkan keanekaragaman genetik yang berbahaya bagi kesehatan manusia, misalnya munculnya gen asing atau gen cry dari *Bacillus thuringensis* maupun *Bacillus sphaericus* yang dapat memunculkan reaksi alergi pada tubuh manusia. Proses penyisipan (insersi) gen asing ke gen induk atau inang dapat memunculkan interaksi antara gen asing dengan gen inang, sehingga menghasilkan perubahan sifat yang tidak diinginkan, selain itu beberapa produk bioteknologi berdampak negatif terhadap keanekaragaman hayati karena memunculkan potensi transfer gen yang disebut horizontal and vertical gene flow. Potensi tersebut berdampak buruk bagi tanaman yang memiliki hubungan kekerabatan yang dekat ataupun ke manusia/organisme lain, serta ke lingkungan sekitarnya.

Berikut ini adalah beberapa pengaruh kegiatan bioteknologi yang bersifat merugikan:

1. Menimbulkan kerusakan ekosistem dan gangguan keseimbangan lingkungan

Aktivitas bioteknologi telah menjadi penyebab kerusakan beberapa habitat makhluk hidup, apabila terjadi pembiaran secara terus-menerus maka akan menimbulkan kerusakan ekosistem. Produk bioteknologi yang berupa tanaman transgenik dapat membunuh hama penyakit tanaman dan sekaligus memberantas hama yang tidak bersifat merusak. Serbuk sari dari produk jagung transgenik mempunyai kemampuan membunuh ulat kupu-kupu monarch, meskipun organisme tersebut tidak bersifat hama ataupun merusak jagung. Begitu pula racun tanaman tersebut yang telah jatuh ke tanah akan merugikan organisme yang hidup di dalamnya.

Dampak negatif lainnya adalah tanaman hasil rekayasa genetik pada bunga matahari telah merugikan serangga penyerbuk seperti lebah dan kupu-kupu karena mengandung zat-zat yang dapat merusak jaringan serangga tersebut. Begitu pula dengan serangga lain telah kehilangan makanan atau unsur nutrisi penting karena tidak ada lagi aktivitas penyerbukan pada beberapa tanaman. Beberapa tanaman hasil rekayasa genetik dapat menyebabkan terjadinya polusi gen yang dapat memunculkan tanaman liar sebagai pengganggu proses keseimbangan lingkungan. Hal ini terjadi di Denmark, dimana tanaman transgenik

mentransfer gennya ke tanaman gulma yang menyebabkan tanaman tersebut sangat resisten terhadap herbisida

2. Plasma nuftah (keanekaragaman hayati) mengalami gangguan atau kepunahan

Kehadiran produk-produk bioteknologi modern, seperti rekayasa genetik dalam menghasilkan bibit tanaman telah mengancam plasma nuftah dari kepunahan. Hal ini terjadi karena para petani tidak memakai varian lokal dan lebih meminati varian hasil rekayasa genetik yang memiliki sifat-sifat unggul dan tingkat produktivitas yang lebih tinggi.

3. Menjadi penyebab keracunan dan gangguan kesehatan lainnya

Proses penyisipan beberapa gen asing ke dalam produk bioteknologi dapat bersifat fatal bagi manusia yang mengkonsumsinya, karena dapat menyerang sistem pernafasan manusia dan menyebabkan keracunan yang berakhir pada kematian. Hal ini terjadi pada pembuatan tempe bongkreng yang menyisipkan bakteri *Burkholderia cocovenenans* ke dalam produknya, sehingga meracuni para konsumennya. Beberapa produk pertanian hasil rekayasa genetika memiliki potensi kadar toksin yang tinggi, hal ini terjadi pada tanaman kentang *magnum bonum* dan *lanape* yang mengandung zat toksin glikoalkaloid yang tinggi. Begitu pula tanaman *carley* dari Amerika yang mengandung psoralen yang dapat memicu terjadinya penyakit dermatitis.

4. Pemicu alergi

Beberapa produk bioteknologi yang berupa bahan makanan, minuman, dan obat-obatan sangat berpotensi memicu terjadinya alergi pada tubuh manusia, hal ini terjadi karena ragam produk bioteknologi tersebut telah mengalami penyisipan gen-gen asing yang tidak semua dapat diterima oleh tubuh manusia dan memberikan reaksi yang berbeda-beda. Oleh karena itu sangat penting dilakukan penelitian yang mendalam sebelum dilakukan penyisipan gen ke dalam produk bioteknologi agar menimbulkan rasa keamanan pada saat dikonsumsi.

5. Menimbulkan kematian pada pengurai

Beberapa produk bioteknologi, seperti tanaman transgenik mengandung senyawa kimia tertentu sebagai bentuk proteksi tanaman itu sendiri, tetapi hal ini menjadi penyebab kematian beberapa pengurai sehingga menghalangi proses pembusukan dan terjadi penumpukan sampah yang dapat mencemari lingkungan

6. Berdampak terhadap penurunan kesuburan tanah

Beberapa jenis tanaman transgenik memiliki akar yang mampu mendegradasi bakteri, jamur (fungi), dan jenis cacing sehingga menimbulkan terjadinya perubahan tekstur ataupun struktur tanah. Beberapa jenis mikroorganisme dari produk bioteknologi cenderung melakukan konjugasi dengan mikroorganisme lainnya sehingga berpengaruh terhadap beberapa jenis mikroorganisme di dalam tanah. Hal tersebut secara tidak langsung akan berpengaruh terhadap struktur tanah.

7. Pemicu pencemaran lingkungan

Pemanfaatan agen-agen biologis dalam menghasilkan produk bioteknologi menjadi penyebab terjadinya pencemaran lingkungan. Hal ini terjadi karena adanya penggunaan mikroorganisme (bakteri dan jamur) selama proses produksi, bilamana tidak tertangani dengan baik, maka akan berisiko terjadinya pencemaran lingkungan

8. Terciptanya patogen super

Patogen super merupakan jenis-jenis patogen yang memiliki sifat unggul dan resisten terhadap antibiotik karena adanya pertukaran gen antara mikroorganisme yang bebas saat proses rekayasa berlangsung dengan beberapa patogen, sehingga sangat sulit disembuhkan pada saat menjadi pemicu suatu penyakit tertentu. Begitu pula pada saat terjadi pertukaran gen mikroorganisme dengan gulma yang berpotensi menghasilkan gulma-gulma super yang susah diberantas dan tahan terhadap herbisida.

9. Ketergantungan yang tinggi terhadap produk bioteknologi

Pada umumnya masyarakat sangat menyukai produk benih yang bersifat unggul, tanpa biji, mudah dibudidayakan, tahan terhadap hama/penyakit, atau masa pemanenan yang cepat, dan lain-lain. Hal-hal tersebut menyebabkan manusia memiliki rasa ketergantungan yang tinggi terhadap produk bioteknologi yang pada akhirnya melahirkan generasi yang pemalas dan tidak produktif.

10. Produk bioteknologi menimbulkan penolakan dan kontroversi

Beberapa produk hasil rekayasa genetika, seperti bayi tabung dan kloning sangat rawan untuk disalahgunakan dengan tujuan tertentu. Selain itu telah memicu perdebatan panjang terhadap produk bioteknologi tersebut, karena dianggap menyalahi nilai-nilai etika dan norma yang berlaku di masyarakat. Bahkan beberapa produk bioteknologi modern, seperti tanaman atau hewan transgenik telah mendapat penolakan di beberapa kalangan masyarakat, karena dianggap penyebab hadirnya zat toksin berbahaya, alergen, dan penurunan kandungan gizi pada beberapa jenis produk makanan.

11. Menghasilkan produk yang mandul

Beberapa produk bioteknologi dari hasil persilangan hewan tertentu telah menghasilkan keturunan dengan sifat-sifat yang unggul, tetapi bersifat steril atau mandul. Selain itu produk-produk tersebut berpotensi menghasilkan keturunan yang cacat. Dampak negatif ini dapat dilihat pada bebek tongki yang merupakan hasil persilangan antara entok betina (*Cairina moschata*) dengan itik jantan (*Anas platyrhynchos*), dimana hasil persilangan tersebut telah meningkatkan produksi telur bagi pemiliknya, tetapi bersifat steril.



Gambar 13.12 Bebek tongki
Sumber: sentrabitunggas.com

12. Dapat dikonversi menjadi senjata mematikan

Beberapa hasil rekayasa genetika telah menciptakan produk-produk bioteknologi yang berpotensi besar menjadi senjata biologi atau kimia. Pada umumnya proses bioteknologi telah memanfaatkan agen-agen hayati berupa mikroorganisme untuk menghasilkan produk yang berkualitas atau bermutu tinggi. Hal ini menjadi kekhawatiran masyarakat internasional atas penyalagunaan produk tersebut, dimana telah menghasilkan jenis bakteri atau mikroorganisme lain yang sulit dimusnahkan dan selanjutnya dapat menjadi senjata mematikan untuk menguasai atau menjajah suatu negara.

13. Kegiatan bioteknologi sebagai suatu tantangan besar

Proses penciptaan produk dalam aktivitas bioteknologi adalah suatu tantangan yang sangat berat, mengingat kegiatan ini membutuhkan biaya tinggi dan sumber daya yang terampil atau keahlian tertentu. Selain itu beberapa hasil atau produk bioteknologi memerlukan proses aklimatisasi yang membutuhkan keterampilan dan kesabaran yang tinggi

E. HAK ATAS KEKAYAAN INTELEKTUAL (HAKI) DAN PRODUK BIOTEKNOLOGI

Setiap penemuan-penemuan baru di bidang bioteknologi atau di bidang ilmu lainnya, mutlak diberikan hak cipta kepada ilmuwan atau pencipta atas produk tersebut. Kepemilikan atas hak cipta dari suatu produk baru yang telah ditemukan, disebut sebagai Hak Atas Kekayaan Intelektual (HAKI). Hak kepemilikan tersebut telah dilindungi hukum berdasarkan Undang-Undang

dan kesepakatan internasional, yakni Convention on Biological Diversity dan World Trade Organization.

Pengaturan tentang Undang-Undang Paten (UUP) terangkum dalam pasal 7 Undang-Undang No.14 tahun 2001, yang menyatakan: "Paten tidak diberikan untuk Invensi tentang: a) proses atau produk yang pengumuman dan penggunaan atau pelaksanaannya bertentangan dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku, moralitas agama, ketertiban umum, atau kesusilaan;b) metode pemeriksaan, perawatan, pengobatan dan/atau pembedahan yang ditetapkan terhadap manusia dan/atau hewan; c) teori dan metode di bidang ilmu pengetahuan dan matematika; atau d) i.semua makhluk hidup, kecuali jasad renik; ii. proses biologis yang esensial untuk memproduksi tanaman atau hewan, kecuali proses nonbiologis atau proses mikrobiologis. Dalam UUP tersebut telah ditambahkan pasal 7 huruf (d) dengan maksud mengakomodasikan usulan masyarakat agar invensi pada makhluk hidup (yang meliputi manusia, hewan, atau tanaman) tidak akan diberikan Paten, karena hal tersebut bertentangan dengan etika, moralitas agama, atau kesusilaan.

Paten dan invensi diatur di dalam Undang-Undang nomor 13 tahun 2016 (UUP). Paten adalah hak eksklusif yang difasilitasi negara kepada inventor atas hasil invensinya di berbagai bidang teknologi dalam jangka waktu tertentu. Inventor adalah satu orang atau lebih yang menghasilkan invensi. Selanjutnya dalam pasal 1 angka 2 UUP nomor 13 tahun 2016 yang menyatakan bahwa invensi adalah hasil ide inventor yang sudah berbentuk dalam kegiatan pemecahan masalah yang spesifik di bidang teknologi. Invensi dapat berupa produk maupun proses. Invensi juga dapat berupa penyempurnaan dan pengembangan produk maupun proses yang sudah ada. Begitu pula dalam pasal 4 UUP yang menyatakan bahwa, yang bukan termasuk invensi adalah sebagai berikut:

1. Kreasi estetika
2. skema
3. Aturan dan metode untuk kegiatan:
 - a. Yang melibatkan mental
 - b. Permainan
 - c. Bisnis
4. Aturan dan metode yang hanya berisi program komputer

5. Presentasi mengenai suatu informasi
6. Temuan (discovery) berupa:
 - a. Penggunaan baru untuk produk yang sudah ada
 - b. Bentuk baru dari senyawa yang sudah ada

F. KEAMANAN HAYATI (BIOSAFETY) DALAM KEGIATAN BIOTEKNOLOGI

Kegiatan bioteknologi telah menghasilkan beberapa dampak yang bersifat merugikan bagi manusia, organisme lain, maupun lingkungan di sekitarnya. Sebagai bentuk upaya pencegahan terhadap kemungkinan munculnya dampak yang lebih besar dan bersifat merugikan, maka dilakukan konvensi internasional yang mengikat secara hukum, yaitu Konvensi Keanekaragaman Hayati (*Convention on Biological Diversity*) pada tahun 1992. Indonesia kemudian meratifikasi konvensi tersebut menjadi Undang-Undang No. 5 Tahun 1994.

Pada dasarnya Konvensi Keanekaragaman Hayati terlaksana atas adanya pedoman dari deklarasi internasional Manusia dan Lingkungannya di Stockhloem pada tahun 1972 (*Stockhloem Declaration on Human Environment*). Deklarasi ini telah memberikan petunjuk tentang adanya ancaman atau dampak merugikan dari penyalahgunaan bentuk teknologi baru, meskipun deklarasi tersebut tidak menyebutkan keilmuan baru yang dimaksud tersebut. Prinsip 4 deklarasi Stockhloem menyatakan bahwa “Manusia bertanggung jawab untuk menyelamatkan dan mengelola secara bijaksana warisan margasatwa dan habitatnya yang kini terancam oleh kombinasi faktor-faktor yang bertentangan.” Prinsip ke-4 dari deklarasi ini sebagai petunjuk mengenai adanya perhatian dunia terhadap pengembangan teknologi, seperti rekayasa genetik (*genetic engineering*), rekombinan DNA (r-DNA), manipulasi gen (*gene manipulation*) yang rawan untuk disalahgunakan.

Pasal 2 yang tercantum dalam Konvensi Keanekaragaman Hayati 1992 telah mendefinisikan bioteknologi sebagai suatu penerapan teknologi yang menggunakan sistem hayati, makhluk hidup maupun derivatifnya dalam proses pembuatan atau modifikasi produk ataupun proses untuk penggunaan tertentu. Begitu pula dalam Pasal 16 telah menegaskan tentang perlunya akses dan alih teknologi di bidang bioteknologi. Sebagai

bentuk tindak lanjut dari Konvensi Keanekaragaman Hayati tahun 1992, maka telah disepakati bersama Protokol Cartagena tentang Pengamanan Hayati (*Cartagena Protocol on Biosafety*). Protokol tersebut membahas tentang tata cara transportasi hasil produksi bioteknologi antar negara, kegiatan tersebut memungkinkan timbulnya beberapa dampak yang bersifat merugikan terhadap ekosistem, kesehatan manusia ataupun kerusakan terhadap keanekaragaman hayati.

Protokol Cartagena juga telah mengakui kedaulatan sosial, budaya, pengetahuan tradisional (*indigenous knowledge*), dan potensi dampak ekonomi dari kegiatan bioteknologi.

Berikut ini beberapa kesepakatan yang diatur dalam Protokol Cartagena:

1. Pemberitahuan terlebih dahulu (*Advance Informed Agreements*), Persetujuan tersebut adalah prosedur yang harus diberlakukan kepada Pihak-Pihak yang melakukan perpindahan lintas batas pada Organisme Hasil Modifikasi Genetik (OHMG) yang telah diintroduksi ke dalam lingkungan oleh para Pihak pengimpor pada waktu proses pengapalan pertama untuk memastikan bahwa negara tujuan impor mempunyai kesempatan dan kapasitas untuk mengkaji adanya kemungkinan risiko pada OHMG.
2. Pemanfaatan OHMG secara langsung
Pihak pengimpor diwajibkan memberikan informasi tentang pemanfaatan secara langsung produk OHMG (pangan, pakan ataupun pengolahan) secara langsung kepada Balai Kliring Keamanan Hayati (*Biosafety Clearing House*) selama kurun waktu 15 hari setelah keputusan diambil.
3. Kajian risiko (Risk Assessment)
Kajian risiko merupakan usaha mewujudkan prinsip kehati-hatian terhadap pengambilan keputusan adanya OHMG yang akan diintroduksi ke dalam lingkungan. Kajian ini bertujuan untuk mengidentifikasi dan mengevaluasi kemungkinan dampak yang ditimbulkan OHMG terhadap usaha konservasi dan pemanfaatan berkelanjutan keanekaragaman hayati dan kemungkinan risiko yang muncul pada kesehatan manusia.

4. Manajemen risiko (*Risk Management*)

Manajemen risiko merupakan lanjutan dari kajian risiko yang terdiri atas penetapan langkah, mekanisme, dan strategi yang tepat dalam mengelola, mengatur, dan mengendalikan risiko yang telah teridentifikasi dalam kajian risiko. Kewajiban yang harus terlaksana dari proses penerapan manajemen risiko adalah perlunya penetapan dan pengimplementasian terhadap sistem peraturan dan kapasitas yang cukup dalam pengelolaan dan pengendalian risiko.

5. Perpindahan lintas batas tidak disengaja dan langkah-langkah darurat (*Emergency Measures*)

Perpindahan tidak sengaja diartikan sebagai perpindahan OHMG yang terjadi di luar kesepakatan Pihak pengimpor maupun Pihak pengeksport. Kedua belah pihak tersebut diharuskan mengambil langkah antisipasi melalui notifikasi kepada Balai Kliring Keamanan Hayati (*Biosafety Clearing House*) tentang kemungkinan adanya kecelakaan dan perlu adanya pemberitahuan nomor kontak/sumber informasi yang dapat dihubungi serta melakukan konsultasi kepada Pihak yang dirugikan atas setiap perpindahan OHMG tersebut.

6. Penanganan, pengangkutan, pengemasan, dan pemanfaatan

Proses penanganan, pengangkutan, pengemasan dan pemanfaatan produk OHMG adalah salah satu upaya penjaminan keamanan dan pengembangan OHMG sesuai dengan standar internasional.

7. Kliring Keamanan Hayati (*Biosafety Clearing House*)

Balai Kliring Keamanan Hayati (*Biosafety Clearing House*) merupakan suatu badan yang didirikan berdasarkan Pasal 20 Protokol Cartagena yang berfungsi sebagai tempat pertukaran informasi di bidang ilmiah, lingkungan hidup, teknis, peraturan mengenai OHMG, dan peraturan keputusan *Advance Informed Agreements* (AIA) tentang pelaksanaan Protokol.

8. Pengembangan Kapasitas

Pengembangan kapasitas negara berkembang sesuai dengan pasal 22 Protokol Cartagena adalah usaha pengembangan kapasitas dalam bentuk kerja sama yang mempertimbangkan kondisi, kebutuhan, serta kemampuan negara berkembang, atau negara yang mengalami transisi ekonomi. Kerja sama tersebut dapat berbentuk pelatihan ilmiah dan teknis, keterampilan, alih teknologi, dan pemberian bantuan keuangan.

G. PERATURAN PERUNDANG-UNDANGAN NEGARA REPUBLIK INDONESIA YANG BERKAITAN DENGAN AKTIVITAS BIOTEKNOLOGI

Pada dasarnya Negara Republik Indonesia menjamin setiap warga negaranya untuk mendapatkan hak atas lingkungan yang layak dan sehat. Hal ini sesuai dengan yang diamanatkan dalam Pasal 28H ayat (1) Undang-Undang Dasar Tahun 1945 yang menyatakan bahwa “Setiap orang berhak hidup sejahtera lahir dan batin, bertempat tinggal dan mendapatkan lingkungan hidup yang baik dan sehat serta berhak memperoleh pelayanan kesehatan.” Peraturan yang tercantum dalam UUD 1945 ini merupakan landasan utama bagi berbagai kegiatan teknologi di tanah air, termasuk berbagai kegiatan bioteknologi yang berpotensi menghasilkan produk-produk yang bersifat pencemar dan merusak lingkungan sekitarnya. Berikut ini adalah beberapa peraturan Perundang-Undangan yang berkaitan dengan aktivitas bioteknologi:

1. Undang-Undang nomor 12 tahun 1992 tentang sistem budidaya pertanian

Pasal 16 dalam Undang-Undang nomor 12 tahun 1992 menyatakan bahwa “Pemerintah RI melarang pengadaan, peredaran dan penanaman benih tanaman tertentu yang merugikan masyarakat, budidaya tanaman, sumber daya alam lainnya dan/lingkungan hidup.” Penerapan pasal ini dapat diimplementasikan pada jenis tanaman hasil rekayasa genetika yang berpotensi merugikan manusia, organisme, dan lingkungan sekitarnya.

2. Undang-undang Nomor 14 Tahun 2001 tentang hak paten

Setiap produk bioteknologi dapat dipatenkan apabila memenuhi beberapa persyaratan atau kriteria tertentu yang sama seperti pada

sektor ilmu dan teknologi lainnya yang telah mendapatkan hak paten (HAKI). Suatu produk atau penemuan dapat dipatenkan, apabila merupakan suatu invensi yang baru dan tidak berkaitan dengan penemuan-penemuan sebelumnya. Perkembangan keilmuan bioteknologi pada periode dasawarsa ini telah menghasilkan beberapa invensi yang sangat berguna bagi kehidupan masyarakat.

3. Keputusan Menteri Pertanian Nomor 78/Kpts/ OT.210/1/ 2002 tentang organisasi dan tata kerja balai penelitian bioteknologi dan sumber daya genetik pertanian.

Keputusan Menteri ini dikeluarkan untuk penyempurnaan organisasi dan tata kerja Balai Penelitian Bioteknologi Tanaman Pangan agar dapat mengembangkan daya guna atau hasil guna penelitian tentang Bioteknologi dan Sumber daya genetik pertanian. Berikut ini beberapa tugas dari Balai Penelitian Bioteknologi Dan Sumber Daya Genetik Pertanian:

- a. Melaksanakan penelitian karakterisasi, konservasi, dan bio molekuler sumber daya genetik pertanian;
 - b. Melaksanakan penelitian rekayasa genetik, bioteknologi sel, jaringan, dan teknologi bio proses sumber daya genetik pertanian;
 - c. Melakukan analisis risiko lingkungan, keamanan pangan produk bioteknologi, dan keanekaragaman hayati
 - d. Mengembangkan sistem bio informatika sumber daya genetik pertanian;
 - e. Mengembangkan usaha agribisnis produk bioteknologi pertanian dan penelitian komponen teknologi sistem
 - f. Memberikan pelayanan tentang teknik kegiatan penelitian bioteknologi dan sumber daya genetik pertanian;
 - g. Menjalin kerja sama, menginformasikan, dokumentasi, dan penyebarluasan atau pendayagunaan hasil penelitian bioteknologi dan sumber daya genetik pertanian
4. Undang-Undang Nomor 21 Tahun 2004 tentang pengesahan Protokol Cartagena yang mengatur keamanan hayati atas konvensi keanekaragaman hayati (*Cartagena Protocol On Biosafety To The Convention On Biological Diversity*)

Bioteknologi modern telah menghasilkan beberapa Organisme Hasil Modifikasi Genetik (OHMG) yang bisa dimanfaatkan untuk kesejahteraan rakyat. Indonesia sebagai negara tropis telah memiliki kekayaan sumber daya alam, seperti kandungan sumber daya hayati yang melimpah. Oleh karena itu penerbitan Undang-Undang Nomor 21 Tahun 2004 telah mendorong perlunya kerja sama untuk penguatan dan pengembangan sumber daya manusia secara internasional tentang pengelolaan produk bioteknologi yang etis, tepat guna, aman, serta menjalin kerja sama dalam hal pengkajian risiko, pelatihan dan teknik pemanfaatan bioteknologi, serta manajemen resiko untuk pengamanan hayati (biosafety).

5. Penerbitan UU tersebut juga untuk mengatur penggunaan bioteknologi agar bermanfaat dalam meningkatkan taraf kehidupan dan kesejahteraan manusia di pangan, pertanian, kesehatan, industri, dan lingkungan hidup. Selain itu, Undang-Undang Nomor 21 Tahun 2004 untuk menjaga dan mereduksi dampak bioteknologi yang bersifat merugikan sumber keanekaragaman hayati, usaha konservasi lingkungan, maupun kesehatan manusia.

Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 4 tahun 2006 tentang pengesahan perjanjian sumber daya genetik untuk tanaman pangan dan pertanian (*International Treaty On Plant Genetic Resources For Food And Agriculture*)

Pengesahan tersebut untuk menjaga sumber keanekaragaman hayati sebagai sumber daya genetik agar tidak mengalami kemerosotan akibat praktik-praktik pertanian yang bersifat merugikan, sehingga dapat mendukung ketahanan pangan, pelestarian dan pemanfaatan sumber daya genetik tanaman dan sistem pertanian yang berkelanjutan.

6. Undang-Undang Nomor 32 Tahun 2009 tentang perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup

Perwujudan dari implementasi dari Undang-Undang Nomor 32 Tahun 2009 adalah adanya pengakuan jaminan dari Pemerintah atas lingkungan yang baik dan sehat. Oleh karena itu perlu dilakukan usaha mengendalikan atau mencegah pencemaran dan/atau kerusakan lingkungan hidup untuk melestarikan fungsi lingkungan hidup yang tercantum dalam baku mutu lingkungan hidup. Baku mutu lingkungan

hidup bioteknologi adalah suatu upaya dalam melakukan pencegahan pencemaran/kerusakan akibat beragam limbah limbah, kotoran, dan bahan-bahan berbahaya lainnya sesuai dengan aturan ataupun parameter yang dipersyaratkan oleh Pemerintah. Pembuangan limbah yang termasuk limbah bioteknologi ke dalam lingkungan harus memenuhi beberapa persyaratan, yaitu a) memenuhi baku mutu lingkungan hidup; b) mendapat izin dari menteri, gubernur, atau bupati/walikota sesuai dengan kewenangannya.

7. Undang-Undang No 21 Tahun 2009 tentang persetujuan pelaksanaan ketentuan-ketentuan *United Nations Convention on The Law of the Sea* (UNCLOS) 3 (1982) tentang konservasi dan pengelolaan laut
Salah satu isi ketentuan umum yang tercantum *United Nations Convention on The Law of the Sea* (UNCLOS) 3, yaitu pasal 196 yang menyatakan bahwa: “Negara-negara harus mengambil tindakan untuk mencegah, mengurangi dan mengendalikan pencemaran lingkungan laut sebagai akibat penggunaan teknologi-teknologi yang ada di bawah yurisdiksi atau pengawasan mereka, atau memasukkan dengan sengaja atau tidak jenis-jenis asing atau jenis baru ke dalam bagian tertentu lingkungan laut, sehingga dapat mengakibatkan perubahan-perubahan penting dan merugikan pada lingkungan laut.”
8. Undang-Undang No. 18 tahun 2012 tentang pangan
Undang-Undang No. 18 Tahun 2012 mengatur tentang penyelenggaraan keamanan pangan yang terdiri dari sanitasi pangan pada kegiatan atau proses produksi pangan, pengaturan produk pangan hasil rekayasa genetik dan iradiasi pangan, pengaturan bahan tambahan pangan, penetapan standar kemasan pangan, pemberian jaminan keamanan pangan dan mutu pangan, serta jaminan halal bagi produk pangan. Pelaku usaha pangan harus memenuhi berbagai ketentuan persyaratan dalam kegiatan atau proses produksi pangan sehingga tidak menimbulkan risiko merugikan dan membahayakan kesehatan manusia. pelaku usaha pangan harus bertanggung jawab terhadap produk pangan yang telah diedarkan agar tidak menyebabkan kerugian maupun gangguan kesehatan ataupun kematian pada saat pangan tersebut dikonsumsi manusia.

H. RANGKUMAN MATERI

1. Manusia telah memanfaatkan dan menerapkan kegiatan bioteknologi selama beberapa abad sebelumnya, meskipun terbatas pada bioteknologi secara konvensional. Pada masa tersebut kegiatan atau penerapan bioteknologi dilaksanakan dalam skala kecil, yakni untuk pemenuhan kebutuhan sehari-hari dengan menggunakan peralatan yang sederhana. Hal tersebut berbeda dengan bioteknologi modern, dimana kegiatan tersebut telah menggunakan peralatan yang sangat canggih dan produk yang dihasilkan telah digunakan untuk berbagai sektor kebutuhan manusia. Bioteknologi modern dapat diterapkan di berbagai bidang kehidupan, misalnya bidang pertanian, peternakan, perikanan, industri makanan, industri obat-obatan/farmasi, kedokteran, lingkungan, dan lain-lain.
2. Risiko bioteknologi dapat diartikan sebagai suatu kemungkinan yang akan terjadi akibat adanya kegiatan bioteknologi. Risiko tersebut dapat menjadi hal yang baik atau bersifat menguntungkan, bahkan bisa menjadi hal yang buruk atau ancaman bagi kehidupan makhluk hidup atau lingkungan sekitarnya oleh adanya aktivitas-aktivitas atau usaha bioteknologi tersebut.
3. Beberapa tahap yang dapat dilakukan dalam proses manajemen risiko pada aktivitas bioteknologi:
 - a. Analisis risiko
Analisis risiko merupakan jenis kegiatan yang dilakukan dengan mengidentifikasi risiko-risiko yang kemungkinan akan muncul selama melakukan kegiatan tertentu. Salah satu teknik dalam mengidentifikasi risiko adalah dengan cara melakukan penelusuran terhadap sumber risiko yang menjadi penyebab sampai terjadinya peristiwa yang tidak diinginkan.
 - b. Pengukuran dan evaluasi risiko
Salah satu teknik yang dapat dilakukan dalam pengukuran risiko adalah dengan menghitung probabilitas (kemungkinan) risiko terhadap peristiwa yang tidak diinginkan terjadi. Teknik tersebut sangat membantu dalam menyeleksi prioritas risiko, sehingga lebih banyak memfokuskan diri pada risiko yang memiliki probabilitas yang tinggi. Teknik pengukuran yang lain dapat dilakukan adalah dengan melakukan

evaluasi dampak risiko yang terjadi terhadap kinerja usaha atau kegiatan yang sementara berjalan.

c. Pengelolaan risiko

Langkah selanjutnya di dalam manajemen risiko setelah menganalisis dan evaluasi adalah dengan melakukan pengelolaan risiko dalam bentuk penghindaran, menahan (*retention*), diversifikasi, transfer risiko, pengendalian risiko, dan pendanaan risiko.

1) Penghindaran

Salah satu cara yang paling mudah dalam proses manajemen risiko adalah menghindari risiko yang mungkin akan terjadi, tetapi cara ini sangat tidak efektif, apabila kita ingin memperoleh manfaat atas segala kegiatan yang telah dilakukan, maka kita harus berani menghadapi risiko tersebut kemudian mengelolanya dengan metode yang tepat.

2) Menahan (*retention*)

Menahan risiko dapat diartikan sebagai langkah yang terukur dan penuh kehati-hatian dalam menghadapi atau menanggung sendiri atas kemungkinan terjadinya risiko yang bersifat tidak menguntungkan/merugikan.

3) Diversifikasi

Diversifikasi adalah langkah-langkah yang dilakukan dalam proses manajemen risiko dengan melakukan penyebaran eksposur yang telah dimiliki, sehingga tidak terkonsentrasi pada satu eksposur saja, melainkan dapat terfokus pada beberapa eksposur yang telah ada. Oleh karena itu, apabila terjadi situasi yang tidak menguntungkan, maka kerugian tersebut dapat di kompensasi dari keuntungan eksposur lainnya.

4) Transfer risiko

Transfer risiko merupakan usaha yang dilakukan dengan mengalihkan tanggungan risiko kepada pihak-pihak lain. Hal tersebut dilakukan, apabila merasa tidak mampu menanggung atas kemungkinan risiko-risiko besar yang akan terjadi, misalnya

melakukan kerja sama dengan pihak asuransi untuk menanggung atas segala risiko yang terjadi.

5) Pengendalian risiko

Pengendalian risiko adalah jenis metode yang paling tepat dalam mengelola risiko yang akan terjadi, metode tersebut dilakukan melalui pencegahan atau menurunkan probabilitas adanya risiko yang bersifat merugikan.

6) Pendanaan risiko

Pendanaan risiko adalah salah langkah dalam manajemen risiko dengan melakukan persiapan sejumlah dana untuk membiayai segala kemungkinan terjadinya risiko yang bersifat yang merugikan atau tidak menguntungkan.

4. Beberapa dampak yang bersifat menguntungkan dalam aktivitas bioteknologi:

- a. Menghasilkan produk-produk makanan/pangan dengan nilai kandungan gizi yang sesuai kebutuhan manusia.
- b. Tercipta keanekaragaman plasma nuftah yang tinggi
- c. Tersedianya sumber pemuliaan tanaman yang lebih banyak
- d. Menghasilkan sumber genetik baru
- e. Mereduksi kegagalan panen
- f. Menghasilkan varietas baru dengan sifat-sifat yang diinginkan dan menghilangkan sifat-sifat yang tidak diinginkan
- g. Mengembangkan produksi peternakan agar memperoleh banyak sifat unggul
- h. Mempermudah dalam proses pertukaran gen dari suatu spesies ke spesies lainnya
- i. Melestarikan hewan-hewan yang terancam kepunahan
- j. Hewan transgenik memiliki kemampuan dalam hal memproduksi susu dengan kandungan unsur-unsur nutrisi tertentu, sehingga dapat digunakan sebagai pengobatan/perawatan penyakit.

- k. melahirkan produk-produk yang berfungsi sebagai penghasil enzim, vitamin, unsur-unsur nutrien, bahkan dapat digunakan sebagai pengobatan penyakit tertentu.
 - l. menciptakan antibodi dan hormon dalam jumlah banyak, sehingga dapat dimanfaatkan dalam proses diagnostik dan terapeutik
 - m. menghasilkan keturunan dengan sifat-sifat yang diinginkan melalui sistem penyisipan, penyilangan, dan pemotongan secara genetik pada sel-sel eukaryotik
 - n. penggunaan bioremediasi untuk membersihkan tumpahan minyak di perairan dan pembersihan residu pestisida
5. Beberapa dampak yang bersifat merugikan dalam aktivitas bioteknologi:
- a. Menimbulkan kerusakan ekosistem dan gangguan keseimbangan lingkungan.
 - b. Plasma nuftah (keanekaragaman hayati) mengalami gangguan atau kepunahan.
 - c. Menjadi penyebab keracunan dan gangguan kesehatan lainnya.
 - d. Pemicu alergi
 - e. Menimbulkan kematian pada pengurai
 - f. Dampak terhadap penurunan kesuburan tanah
 - g. Pemicu pencemaran lingkungan
 - h. Terciptanya patogen super
 - i. Ketergantungan yang tinggi terhadap produk bioteknologi
 - j. Produk bioteknologi menimbulkan penolakan dan kontroversi
 - k. Menghasilkan produk yang mandul
 - l. Dapat dikonversi menjadi senjata mematikan
 - m. Kegiatan bioteknologi sebagai suatu tantangan besar
6. Kepemilikan atas hak cipta dari suatu produk baru yang telah ditemukan, disebut sebagai Hak Atas Kekayaan Intelektual (HAKI). Hak kepemilikan pada kegiatan bioteknologi telah dilindungi hukum berdasarkan Undang-Undang dan kesepakatan internasional, yakni *Convention on Biological Diversity dan World Trade Organization* dan Undang-Undang Paten (UUP) yang terangkum dalam pasal 7 Undang-Undang No.14 tahun 2001.

7. Kegiatan bioteknologi telah menghasilkan beberapa dampak yang bersifat merugikan bagi manusia, organisme lain, maupun lingkungan di sekitarnya. Sebagai bentuk upaya pencegahan terhadap kemungkinan munculnya dampak yang lebih besar dan bersifat merugikan, maka dilakukan konvensi internasional yang mengikat secara hukum, yaitu Konvensi Keanekaragaman Hayati (*Convention on Biological Diversity*) pada tahun 1992. Indonesia kemudian meratifikasi konvensi tersebut menjadi Undang-Undang No. 5 Tahun 1994.

TUGAS DAN EVALUASI

1. Kemukakan beberapa alasan beserta bukti pendukung lainnya, mengapa bioteknologi dikatakan sebagai bukan pendatang baru dalam ilmu pengetahuan
2. Jelaskan persamaan dan perbedaan aplikasi bioteknologi yang berupa hibridisasi, kultur jaringan, poliploid, dan hibridoma!
3. Jelaskan perbedaan beberapa aplikasi bioteknologi bidang pertanian di bawah ini:
 - a. Tanaman transgenik
 - b. Tanaman hidroponik
 - c. Tanaman aeroponik
4. Jelaskan perbedaan antara proses fermentasi dengan bioremediasi!
5. Aplikasi bioteknologi di bidang sosial telah mendatangkan beberapa keuntungan, jelaskan mengapa demikian?
6. Uraikan dengan singkat beberapa istilah berikut ini:
 - a. Kloning
 - b. Inseminasi buatan
 - c. Rekombinan DNA
 - d. Antibodi monoklonal
 - e. Mikroriza
 - f. Bioinsektisida
7. Kegiatan bioteknologi digolongkan sebagai risiko spekulatif, jelaskan mengapa demikian?
8. Jelaskan dengan singkat, mengapa bioteknologi dikatakan sebagai aktivitas dengan tantangan yang sangat besar!

9. Jelaskan hubungan antara Hak Atas Kekayaan Intelektual (HAKI) dengan kegiatan bioteknologi!

DAFTAR PUSTAKA

- Adrianto, H., Ulinniam, Purwanti, E.W., Yusal, M.S., Widyastuti, D.A., Sutrisno, E., Hetharia, C., Dailami, M., Rini, Angga, L.O., Khairina, A., Hariri, M.R., Nendissa, D.M., Nendissa, S.J., Noviantari, A., & Chrisnawati, L., 2021. *Bioteknologi*, Bandung: Widina Bhakti Persada.
- Barton, Thomas, William G. Shenkir, Paul L. Walker. (2002). *Making Enterprise Risk Management Pay Off*. New Jersey: Prentice Hall
- Dailami, M., Tahya, C.Y., Harahap, D.G.S., Duhita, M.R., Sutrisno, E., Hidana R., Supinganto, A., Puspita, R., Purbowati, R., Yusal, M.S., Alang, H., & Apriyanti, E., 2020. *Biologi Umum*, Bandung: Widina Bhakti Persada.
- Handayani, Duhita, M.R., Ulinniam, Hetharia, C., Sianturi, B.J., Yusal, M.S., Sutrisno, E., Purbowati, R., Manik, V.T., Octorina, P., Alang, H., & Apriyanti, E., 2020. *Biologi Umum*, Bandung: Widina Bhakti Persada.
- Handayani, Darmayani, S., Nendissa, S.J., Hasibuan, A.K.H., Dimenta, R.H., Indarjani, Hetharia, C., Duhita, M.R., Arif, A., Yusal, M.S., Sianturi, B.J., Ulinniam, & Latumahina, F.S., 2021. *Fisiologi Hewan*, Bandung: Widina Bhakti Persada.
- Kotijah, S., & Ventyrina, I., 2018. *Pengaturan Baku Mutu Bioteknologi (Dalam Baku Mutu Lingkungan Hidup Lain Sesuai dengan Ilmu Pengetahuan dan Teknologi)*. Bantul, Yogyakarta: Pustaka Abadi
- Peter Chen, 1997. *Microorganisms & Biotechnology*. London: John Murray Ltd.
- Primrose, S.B., 1987. *Modern Biotechnology*. Oxford: Blackwell Scientific Publications.
- SBC Warburg. (2004). *The Practice of Risk Management*, Euromoney Book.
- Stulz, Rene M. (2003). *Risk Management and Derivatives*. Thomson-South Western.
- Waites, M.J., Morgan, N.L., Rockey, J.S., and Gary Higton, 2001. *Industrial Microbiology: An Introduction*. USA: Blackwell science.

Yusal, M.S., 2020. *Sistem Respirasi dan Ekskresi Organisme Heterotrof dalam Biologi Umum*, 2020: 79-118, Bandung: Widina Bhakti Persada

A square graphic with a double border. Inside, the word "BAB" is at the top, and the number "14" is in the center, both in a white serif font on a grey background.

BAB
14

ANTIBODI MONOKLONAL

Dr.med. Theopilus Wilhelmus Watuguly, M.Kes, AIF
Universitas Pattimura, Ambon

A. PENGANTAR

Antibodi Monoklonal (Mabs) merupakan antibodi yang dibuat dari sel kekebalan tubuh yang identik (sama), hasil kloning dari sel induk tunggal, sehingga memiliki struktur tetap dan mampu mengikat penanda asing yang serupa. Antibodi monoklonal (Mabs) merevolusi riset bidang biologi dan membentuk konsep penggunaan antibodi terapi dalam bidang kedokteran dan perkembangan industri bioteknologi saat ini yang terus mengalami perkembangan cepat.

Antibodi monoklonal (Mabs) adalah alat imunologi dengan aplikasi di bidang imunologi, bioteknologi, biokimia, dan biologi terapan. Produksi antibodi monoklonal dengan menggunakan teknologi hibridoma ditemukan pada tahun 1975 oleh Georges Kohler dari Jerman Barat dan Cesar Milstein dari Argentina. Penelitian modern tentang Mabs dari laboratorium di seluruh dunia mengungkapkan aplikasi tambahan di berbagai cabang ilmu. Baru-baru ini, Mabs telah banyak diterapkan di bidang kedokteran klinis. Saat ini, Mabs menyumbang sepertiga dari semua perawatan terapeutik baru untuk kanker payudara, leukemia, arthritis, penolakan transplantasi, asma, dan psoriasis, dengan lebih banyak lagi uji klinis tahap akhir yang

sedang dilakukan. Prospek masa depan dari tinjauan ini terletak pada penerapan antibodi monoklonal sebagai molekul untuk memahami dan memantau biologi penyakit dan perannya dalam aplikasi penelitian, klinis, diagnostik, analitik, dan farmasi

Meningkatnya permintaan untuk antibodi monoklonal (Mabs) yang digunakan untuk aplikasi diagnostik dan terapeutik telah mengarah pada pengembangan proses manufaktur skala besar, dengan peningkatan produksi dicapai melalui optimalisasi berkelanjutan dari sistem yang melekat. Jumlah antibodi monoklonal (Mabs) yang telah disetujui untuk aplikasi terapeutik dan untuk digunakan dalam uji klinis telah meningkat secara signifikan dalam beberapa tahun terakhir. Mengingat efek samping dan keterbatasan Mabs, beberapa perbaikan dan modifikasi pada antibodi monoklonal telah dikembangkan. Modifikasi ini telah memfasilitasi penggunaan Mabs dalam berbagai bentuk aplikasi terapeutik seperti pengobatan penyakit menular yang disebabkan oleh organisme bakteri, virus, jamur dan parasit. Antibodi monoklonal juga telah diterapkan dalam pengobatan penyakit non-infeksi seperti kanker, penyakit kekebalan, artritis, dan gangguan lain akibat transplantasi organ.

B. PENDAHULUAN

Sistem kekebalan pada hewan vertebrata terus berkembang untuk melindungi dirinya dari patogen pengganggu yang berbeda. Respon imun berputar di sekitar beberapa mekanisme bawaan, termasuk proses adaptif seperti memproduksi molekul antibodi (Ab) yang dapat mengikat semua struktur molekul patogen mikroba (bakteri, virus, jamur, nematoda, dan parasit lainnya) dan dapat mengimbangi mutasi yang terdiversifikasi dalam anorganisme. Antigen didefinisikan sebagai molekul atau bagian dari suatu molekul yang dapat dikenali oleh sistem imun sebagai entitas asing. Dengan demikian, tantangan sistem kekebalan diperangi dengan dua cara. Pertama, melalui mekanisme keragaman antibodi, limfosit B menghasilkan beragam antibodi yang spesifik untuk antigen baru (epitop) yang diekspresikan oleh patogen dengan mengacak dan merombak konstituen genetiknya. Kedua, gen pengkode paratope dari antibodi bermutasi dengan cepat untuk mengatasi dan mengikat kuat dengan epitop antigen. Jadi, antibodi yang

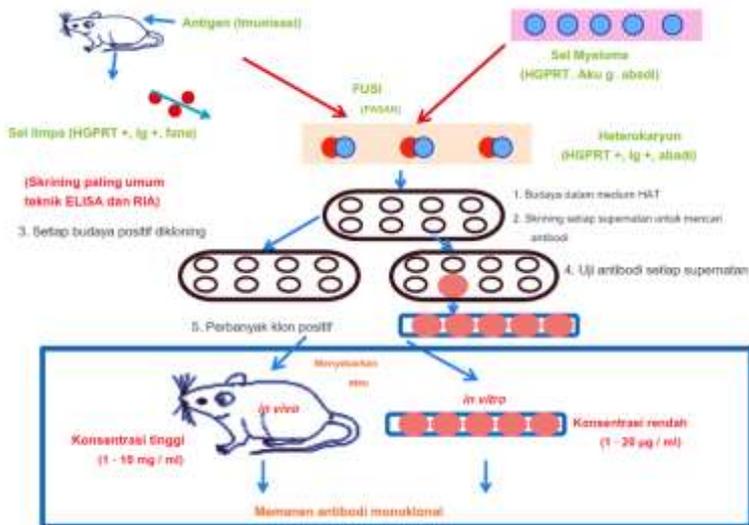
dihasilkan ini lebih baik dalam mengikat antigen dengan afinitas yang lebih besar dan spesifisitas yang tinggi (Zola, 2010).

Oleh karena itu, antibodi adalah alat penelitian yang berguna dalam diagnosis dan terapi, karena mereka dapat mengenali dan mengikat secara spesifik dan kuat dengan antigen masing-masing. Campuran antibodi poliklonal mengandung antibodi berbeda yang dikembangkan dalam darah hewan yang diimunisasi dari jenis sel yang berbeda. Karena sebagian besar antigen mengandung banyak epitop, mereka dapat menstimulasi proliferasi dan diferensiasi berbagai klon sel B. Jadi kumpulan antibodi serum yang heterogen dapat diproduksi dengan spesifisitas untuk epitop tertentu dari antigen. Sebaliknya, antibodi monoklonal (Mab(s)) adalah campuran molekul antibodi homogen dengan afinitas terhadap antigen tertentu, sering kali dihasilkan menggunakan hibridoma dengan menggabungkan sel B dengan satu garis keturunan sel yang mengandung gen antibodi tertentu. Akhirnya, populasi sel identik (atau klon) diproduksi yang mengeluarkan antibodi yang sama. Karena spesifisitas dan reproduktifitasnya yang tinggi menggunakan teknik kultur, Mabs menawarkan keunggulan dibandingkan antibodi poliklonal. Mabs semakin banyak digunakan dalam aplikasi seperti penelitian dan diagnosis, alat terapi dalam kanker dan gangguan imunologi, dan farmasi, sehingga menghasilkan permintaan yang besar di industri. Karakteristik penting yang menganugerahkan penerapan klinis MBS mencakup spesifisitas pengikatan dan homogenitas, serta kemampuannya untuk diproduksi dalam jumlah yang tidak terbatas (Tyagi S, et al, 2011). Keuntungan unik lain dari produksi hibridoma adalah bahwa campuran antigen dapat digunakan untuk menghasilkan antibodi tertentu. Hal ini juga memungkinkan seseorang untuk menyaring antibodi pilihan dari campuran populasi antibodi dengan antigen yang dimurnikan; dengan demikian, klon sel tunggal dapat diisolasi.

C. SEJARAH PRODUKSI MONOKLONAL ANTIBODI (MABS)

Produksi Mabs oleh teknologi hibridoma ditemukan pada tahun 1975 oleh Georges Kohler dari Jerman Barat dan Cesar Milstein dari Argentina, yang bersama-sama dengan Niels Kaj Jerne dari Denmark dianugerahi Penghargaan Nobel untuk Fisiologi dan Kedokteran pada tahun 1984. Pada tahun 1976, Kohler dan Milstein mengembangkan teknik untuk

menggabungkan sel-sel splenosit (dipisahkan dari limpa tikus yang diimunisasi) dengan sel-sel mieloma tumor. Sel hibrid adalah klon dari sel penghasil antibodi melawan antigen yang diinginkan dan berkembangbiak dengan cepat untuk menghasilkan antibodi dalam jumlah yang sangat besar. Hibridoma mampu memproduksi secara cepat dan tingkat sekresi antibodi yang tinggi seperti pada sel myeloma, yang dapat mempertahankan gen antibodi dari sel limpa tikus. Pada tahun 1988 (Edwards, PA, 1981; Köhler G, Milstein C, 1975; Waliza Ansar, Shyamasree Ghosh, 2013).



Gambar 14.1 Produksi Antibodi Monoklonal Dengan Teknologi Hibridoma. Garis besar teknologi hibridoma melibatkan isolasi sel limpa dari tikus yang diimunisasi, fusi mereka dengan sel myeloma abadi dan produksi serta memperbanyak lebih lanjut antibodi monoklonal dari sel hibrid. Dimodifikasi dari: Tyagi S, et al, 2011; Waliza Ansar, Shyamasree Ghosh, 2013.

D. TUJUAN UTAMA PRODUKSI MONOKLONAL ANTIBODI (MABS)

Tujuan utamanya adalah untuk menghasilkan populasi Mabs yang homogen terhadap imunogen yang telah difiksasi sebelumnya (Gambar 1). Strategi dasarnya meliputi:

1. pemurnian dan karakterisasi antigen yang diinginkan dalam jumlah yang memadai,

2. imunisasi mencit dengan antigen yang dimurnikan,
3. Kultur sel myeloma yang tidak dapat mensintesis hipoksantin-gua- nine-phosphoribosyl enzim transferase (HGPRT) yang diperlukan untuk jalur penyelamatan asam nukleat,
4. Pengangkatan sel limpa dari tikus dan fusi dengan sel myeloma,
5. Setelah fusi, hibridoma ditanam di hipoksantin aminopterin timidin (HAT) medium. Sel-sel yang menyatu tidak terpengaruh jika tidak ada HGPRT kecuali mereka Jalur sintesis de novo juga terganggu. Dengan adanya aminopterin, sel tidak dapat menggunakan jalur de novo dan dengan demikian sel ini menjadi auksotrofik untuk asam nukleat sebagai suplemen untuk media HAT. Dalam media ini, hanya sel yang menyatu yang akan tumbuh. Sel myeloma yang tidak terpakai tidak memiliki kemampuan untuk tumbuh dalam medium HAT ini karena mereka kekurangan HGPRT, sehingga tidak dapat menghasilkan DNA. Sel limpa yang tidak terpakai tidak dapat tumbuh karena masa hidupnya yang pendek. Hanya sel hibrida yang menyatu atau hibridoma yang dapat tumbuh di HAT medium. Sel hibrida memiliki kapasitas untuk tumbuh dalam media HAT karena mitra sel limpa menghasilkan HGPRT,
6. Klon sel hibrid dihasilkan dari sel inang tunggal
7. Antibodi yang disekresikan oleh klon berbeda kemudian diuji kemampuannya untuk mengikat antigen menggunakan enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA) (Zola H, 2010; Tygi S, et al, 2011).

E. PENGEMBANGAN ANTIBODI TERAPEUTIK UNTUK PENGOBATAN PENYAKIT

Terapi Mabs pertama, muromonab-CD3 (Orthoclone OKT3), telah disetujui oleh FDA AS pada tahun 1986 (Ecker DM, et al, 2015) dan terdiri Mab murine terhadap CD3 yang diekspresikan sel T yang berfungsi sebagai immunosupresan untuk pengobatan penolakan transplantasi akut. Untuk mengatasi masalah penurunan potensi dan kemandirian imunogenik, sambil memungkinkan penggunaan antibodi terapeutik untuk jangka waktu yang lama, para peneliti mengembangkan teknik untuk mengubah antibodi hewan pengerat menjadi struktur yang lebih mirip dengan antibodi manusia, tanpa kehilangan sifat pengikat. Antibodi chimeric pertama, anti-GPIIb / IIIa antigen-binding fragment (Fab) (abcixiMab), telah disetujui pada tahun

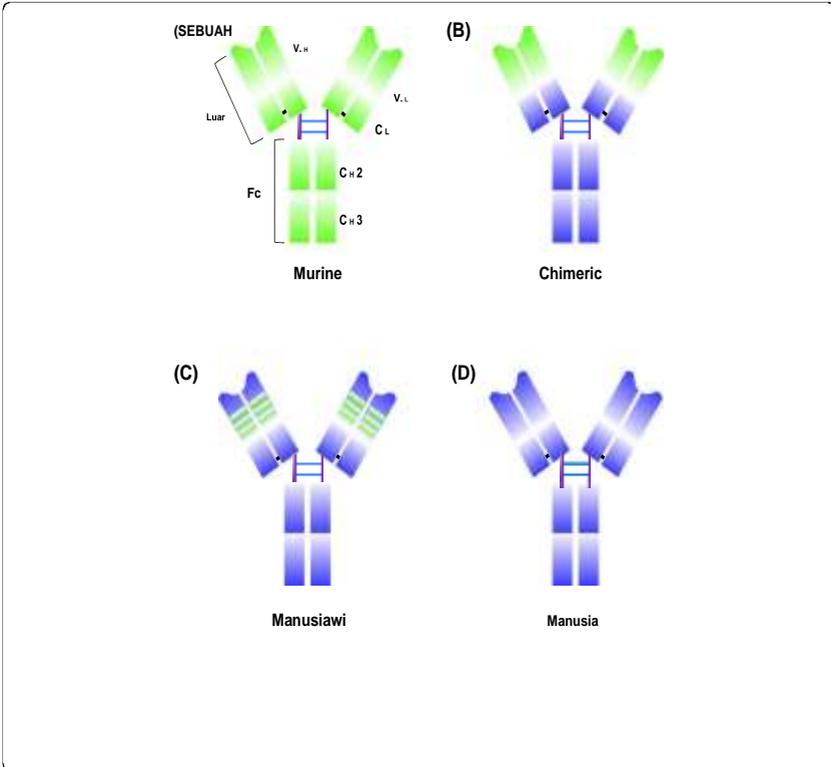
1994 oleh US FDA untuk menghambat agregasi platelet pada penyakit kardiovaskular. Obat ini dikembangkan dengan menggabungkan urutan domain variabel murine dengan domain wilayah konstan manusia (Gambar 2b) (Foster RH, Wiseman LR, 1998). Kemudian Mab pertama dengan indikasi onkologis, rituxiMab, chimeric anti-CD20 IgG1 disetujui untuk non-Hodgkin ' limfoma pada tahun 1997 oleh US FDA (Maloney DG, et al, 1997; Maloney DG, et al, 1997).

Satu kemajuan luar biasa yang mempercepat persetujuan Mabs terapeutik adalah generasi antibodi manusiawi dengan penentuan komplementer. Teknik penyambungan daerah (CDR). Dalam pencangkakan CDR, urutan CDR antibodi non-manusia ditransplantasikan ke dalam urutan kerangka manusia untuk mempertahankan spesifisitas target (Gambar 2c). Mab manusia pertama yang disetujui oleh FDA AS pada tahun 1997 adalah reseptor anti-IL-2, daclizuMab, untuk pencegahan penolakan transplantasi (Tsurushita N, et al, 2005). Humanisasi antibodi memungkinkan untuk secara klinis menerapkan kelas baru biologi yang ditujukan untuk melawan penyakit yang memerlukan pengobatan jangka panjang, seperti kanker dan penyakit autoimun (Watier H, Reichert J, 2017). Berdasarkan keberhasilan Mabs manusiawi di klinik, teknologi penemuan kunci untuk mendapatkan Mabs manusia seutuhnya (Gambar 2d) dikembangkan pada tahun 1990 oleh Sir Gregory P. Winter (McCafferty J, et al, 1990).

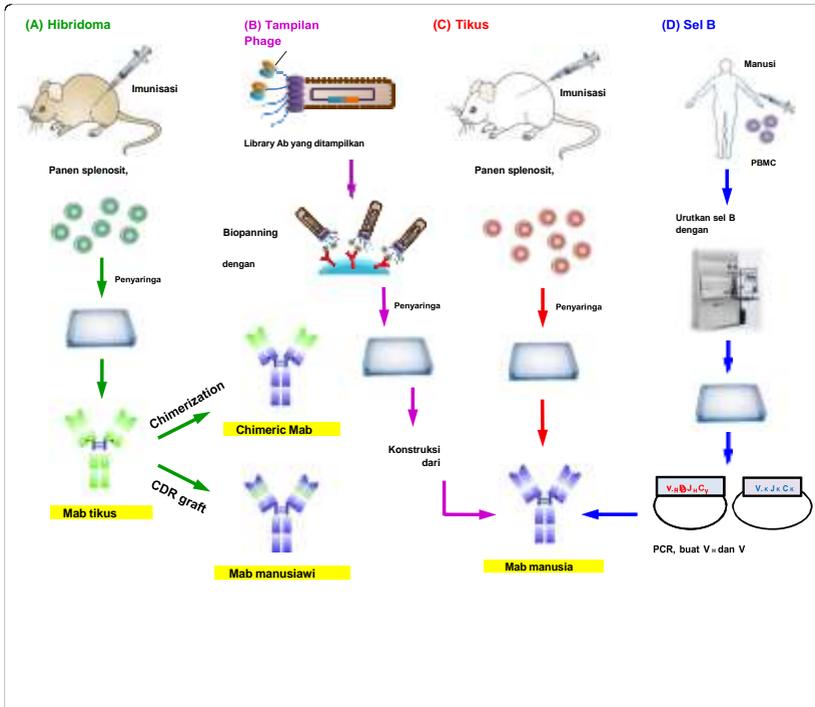
Teknik ini didasarkan pada tampilan fag, di mana berbagai gen eksogen digabungkan ke dalam bakteriofag berfilamen untuk menyusun perpustakaan. Protein perpustakaan kemudian disajikan pada permukaan fag sebagai fusi dengan protein mantel fag, memungkinkan pemilihan pengikat dan karakteristik afinitas tertentu. Itu Teknik tampilan phage pertama kali diperkenalkan oleh George P. Smith dan terdiri dari metode yang ampuh untuk identifikasi cepat peptida atau fragmen antibodi, seperti variabel fragmen rantai tunggal (scFv) atau Fab, yang mengikat berbagai molekul target (protein, glycans permukaan sel, dan reseptor) (Wu CH, et al, 2016) (Gambar 3b). Penghargaan Nobel Kimia 2018 dianugerahkan kepada George P. Smith dan Sir Gregory P. Winter. George Smith mengembangkan peptida berfragis yang dapat digunakan untuk mengembangkan protein baru. Gregory P. Winter mampu menerapkan perpustakaan antibodi yang ditampilkan fagagedi untuk penemuan dan

isolasi antibodi. Teknologi tampilan fag juga telah digunakan untuk pematangan antibodi melalui mutagenesis CDR dan pemilihan afinitas yang diarahkan ke situs. Berdasarkan teknik ini, antibodi terapeutik manusia penuh pertama, adalimumab (Humira), faktor nekrosis antitumor α (TNF α) antibodi manusia (Kempeni J, 1999), telah disetujui pada tahun 2002 oleh FDA AS untuk rheumatoid arthritis. Hingga saat ini, sembilan manusia obat antibodi yang dihasilkan oleh tampilan fag telah disetujui oleh FDA AS.

Hewan transgenik merupakan teknologi lain untuk mendapatkan Mabs manusia sepenuhnya (Gambar 3c). Teknologi ini diperkenalkan pada tahun 1994 dengan penerbitan dua baris tikus transgenik, HuMabMouse (Lonberg N, et al, 1994) dan XenoMouse (Mendez MJ, et al, 1997). Garis-garis tersebut dimodifikasi secara genetik sehingga gen human immunoglobulin (Ig) dimasukkan ke dalam genom, menggantikan gen Ig endogen dan membuat hewan ini mampu mensintesis antibodi manusia sepenuhnya setelah imunisasi. Antibodi manusia pertama yang dihasilkan pada tikus transgenik ke reseptor faktor pertumbuhan anti-epidermal (EGFR), panitumumab, telah disetujui oleh FDA AS pada tahun 2006 (Moroni M, et al, 2005; Gibson TB, et al, 2006). Jumlah antibodi manusia yang dibuat dari tikus transgenik telah meningkat pesat, dengan jumlah obat yang disetujui saat ini sebanyak 19 buah. Bergantung pada protokol imunisasi, afinitas tinggi antibodi manusia dapat diperoleh melalui seleksi lebih lanjut dari klon hibridoma yang dihasilkan dari tikus transgenik yang diimunisasi. Dengan menggunakan pendekatan yang secara teoritis serupa, generasi penawar antibodi manusia dari sel B manusia juga membuahkan hasil yang menjanjikan untuk terapi penyakit menular.



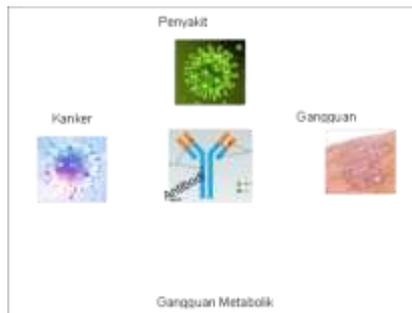
Gambar 14.2 Gambaran skematis humanisasi antibodi dari antibodi murine (domain hijau) hingga antibodi manusia sepenuhnya (domain oranye) dan sufiks terkait. **a** Sebuah Antibodi monoklonal murine. **b** Antibodi monoklonal chimeric: daerah variabel berasal dari murine, dan sisa rantai lainnya berasal dari manusia. **c** Antibodi monoklonal manusiawi: hanya mencakup segmen hipervariabel asal murine. **d** Manusia monoklonal. C H: domain dari wilayah konstan rantai berat; C L: domain konstan dari rantai ringan; Fab dan Fc: fragmen yang dihasilkan dari proteolisis; V. H: domain variabel dari rantai berat; V. L: domain variabel dari rantai ringan



Gambar 14.3 Pendekatan untuk pengembangan antibodi terapeutik. Sebuah Teknik hibridoma tikus tradisional dimulai dengan imunisasi tikus dengan antigen yang diinginkan untuk memicu respons imun. Splenosit yang dipanen menyatu dengan sel myeloma untuk menghasilkan sel hibridoma yang secara terus menerus mengeluarkan antibodi. Setelah skrining, lead yang dipilih digunakan untuk menghasilkan antibodi chimeric atau humanized. b Layar phage. Perpustakaan antibodi manusia yang ditampilkan fag manusia digunakan untuk memilih antigen yang diinginkan. Setelah 3 - 5 putaran klon biopanning, fag immuno-positif disaring dengan ELISA; kemudian urutan DNA dianalisis untuk membangun dan mengekspresikan IgG manusia. c Tikus transgenik. Mirip dengan teknik hibridoma tikus atau metode sel B tunggal. d Teknik sel B tunggal. Dari donor yang terinfeksi atau divaksinasi, PBMC dipersiapkan isolasi sel B yang sesuai dengan aliran sitometri. Mengikuti RT-PCR, V_H dan V_L informasi dari setiap sel B menginformasikan generasi Mabs manusia.

F. APLIKASI TERAPEUTIK ANTIBODI MONOKLONAL (MABS)

Kemajuan terbaru dalam rekayasa genetika telah memungkinkan upaya untuk meningkatkan aplikasi terapeutik Mabs dengan mengidentifikasi target baru dengan peningkatan kemanjuran untuk digunakan dalam praktik klinis (Xiong W, et al, 2012). Penggunaannya dalam imunoprolifaksis atau imunoterapi telah diterapkan secara luas pada penyakit menular, sebagai pembawa pengiriman zat beracun ke tumor atau sebagai alat untuk mengidentifikasi, menemukan, dan menargetkan neoplasma (Mumaw MM, et al, 2015). Mereka juga telah digunakan dalam pengobatan beberapa jenis kanker, penyakit kekebalan, artritis dan penyakit metabolik (Gambar 4). Aplikasi terapeutik mereka termasuk terapi kanker, terapi penyakit manusia dan hewan, persiapan vaksin, penekanan respon imun dan pemurnian hormon (Liu JKH, 2014).



Gambar 14.4 Beberapa Area Untuk Aplikasi Terapeutik Antibodi Monoklonal (Mabs)

Dimodifikasi dari: Aliyu Mahmuda, et al, 2017

a. Penyakit menular

Para peneliti telah menunjukkan bahwa Mabs berpotensi mencegah kolonisasi yang efektif *Streptococcus mutans* dalam kasus karies gigi. Dengan identifikasi sub-unit peptida baru (epitop) dari *Streptococcus mutans*, Mabs dapat digunakan untuk mengobati kondisi ini secara efektif. Di dalam menganggap, itu endogen bakteri (*Streptococcus spp*, *Lactobacillus spp*) adalah dijajah untuk membentuk antigen utama (Chen F, Wang D, 2010). Mekanisme pertahanan mukosa sebagian besar dimediasi oleh antibodi sekretori (sIgA) dari saliva. Imunisasi (vaksinasi) dengan

antigen yang dimurnikan dari *Streptococcus mutans* membantu dalam memobilisasi imunoglobulin spesifik antigen, khususnya IgA, ke kelenjar ludah di tempat induksi. Imunoglobulin (IgA) ini diproduksi oleh sel B spesifik karena diferensiasi dan pematangannya dalam air liur. Beberapa sumber Mabs non-manusia juga telah dikembangkan dengan kurangnya efek samping seperti reaksi alergi (Ghosh S, Ansar W, 2013).

Antibodi penetral terhadap virus yang sangat bervariasi patogen melindungi terhadap virus yang beredar secara global. Probing dari itu menetralkan repertoar antibodi donor HIV dengan tanggapan yang sangat luas dan efektif menghasilkan 17 antibodi monoklonal baru. Banyak Mabs baru hampir sepuluh kali lipat lebih kuat dibandingkan dengan Mabs PG9, PG16 dan VRC01 yang dijelaskan baru-baru ini; dan 100 kali lipat lebih kuat dibandingkan dengan prototipe asli HIV secara luas menetralkan Mabs. Mabs ini telah diakui novel epitop di menyelimuti glikoprotein (gp120), sehingga mengungkapkan target alternatif baru untuk desain vaksin. Analisis netralisasi oleh Mabs yang tersedia ini mengungkapkan bahwa campuran antibodi tertentu dapat menawarkan cakupan virus yang bersirkulasi yang lebih menguntungkan dan beragam (Ghosh S, Ansar W, 2011). Karena Mabs yang secara khusus menargetkan situs pengikatan C9 *Trichinella spiralis paramyosin* (Ts-Pmy) akan diperlukan untuk digunakan dalam pengobatan *Trichinella spiralis* infeksi, Mab 9G3 berhasil diproduksi. Itu ditemukan reaktif terhadap rekombinan Ts-Pmy, serta penutur asli Ts-Pmy diekspresikan dalam berbagai tahap *Trichinella spiralis*. Pengikatan Mab (9G3) ke Ts-Pmy ditemukan secara aktif menentang pengikatan Ts-Pmy untuk melengkapi C9 manusia, sehingga menyebabkan peningkatan yang signifikan dalam pembunuhan larva yang baru lahir in vitro, dan infektivitas berkurang *Trichinella spiralis* pada tikus yang diobati dengan Mab (Hao Y, et al, 2014).

b. Terapi Kanker

Beberapa antibodi monoklonal telah dilaporkan berfungsi dalam memblokir faktor pertumbuhan dengan mengikat, dan menghambat, reseptor faktor pertumbuhan, untuk secara efektif menghentikan proliferasi sel tumor (Hutchings CJ, et al, 2010). Ibritumo Mab adalah antibodi monoklonal terhadap antigen CD20 pada sel-B untuk pengobatan

pasien limfoma; sementara RituxiMab (IDEC-C2B8). Antibodi monoklonal juga dimodifikasi untuk pengiriman radioisotop (Radioimunoterapi), racun, sitokin, dan beberapa konjugat aktif lainnya. Mabs bi-spesifik dapat dirancang sehingga wilayah Fab mereka dapat menargetkan antigen dan sel efektor. Laporan dari sebuah penelitian juga menunjukkan bahwa konjugat, racun dan obat-obatan dengan Mabs juga dapat membunuh sel leukemia (Ducry L, Stump B, 2010). CetuxiMab[®] adalah obat yang digunakan dalam pengobatan jenis kanker payudara dan limfoma tertentu dengan memblokir HER-1; sedangkan TrastuzuMab[®] diketahui memblokir reseptor HER-2 pada kanker payudara (Lambert JM, Chari RVJ, 2014). Terapi anti kanker Mabs melawan leukemia adalah GemtuzuMab[®] dan AlemtuzuMab[®]; sedangkan NimotuzuMab[®] dan CituxiMab[®] untuk karsinoma. BevacizuMab adalah obat lain (Mab) yang disetujui oleh Food and Drug Administration (FDA) untuk digunakan dalam terapi kanker kolorektal. Ini mengikat faktor pertumbuhan endotel vaskular (VEGF), sehingga mencegahnya mengikat reseptornya. Vitaxin[®] adalah obat uji klinis (fase II) yang memberikan hasil yang lebih baik dalam mengecilkan tumor padat, tanpa efek samping yang merugikan. Ini ditemukan untuk mengikat integrin vaskular (alfa-v/beta-3) yang ada di pembuluh darah yang memasok tumor tetapi tidak ada di pembuluh darah yang ditemukan di jaringan normal (Campara M, et al, 2010).

c. Penyakit Autoimun

InfliximiMab[®] dan AdalimuMab[®] tersedia secara monoklonal antibodi digunakan untuk imun penyakit, dan efektif melawan rheumatoid arthritis, penyakit Crohn dan kolitis ulserativa (Ghosh S, Ansar W, 2013). Mereka memiliki kecenderungan untuk mengikat dan memblokir faktor nekrosis tumor (TNF), TNF- α , dan Interlukin-2 (IL-2) pada sel-T teraktivasi yang juga dihambat oleh BasilixiMab dan DaclizuMab, dan dengan demikian membantu mencegah penolakan akut ginjal. transplantasi. DaclizuMab[®] juga merupakan obat Mab-ampuh untuk pengobatan limfoma sel-T sementara penghambatan IgE manusia oleh OmalizuMab[®] sangat berharga dalam pengobatan berbagai jenis asma alergi (Chan AC, Carter PJ, 2010). OKT3 (Muromonab[®], Orthoclone[®]) adalah Mabs terapeutik pertama yang disetujui FDA (murine IgG2a; spesifik CD3), dan saat ini digunakan pada

pasien resisten steroid yang menderita penolakan setelah transplantasi organ padat. Pasien yang telah menerima transplantasi ginjal secara rutin diberikan obat ini untuk menginduksi immunosupresi, untuk mencegah penolakan jaringan asing. The (OKT-3) Mabs diketahui menyerang sel-T yang menyebabkan penolakan (Campara M, et al, 2010).

Dalam upaya untuk menentukan apakah antibodi monoklonal diarahkan melawan imun sel komponen yang bertanggung jawab untuk memunculkan respon imun abnormal dapat digunakan untuk mengobati kondisi tersebut (Tyagi S, et al, 2011). Antibodi monoklonal melawan endotoksin dari *Escherichia coli* telah diproduksi dan telah melindungi tikus dari bakteremia. Mereka juga telah dianalisis pada manusia. Antibodi monoklonal sel-T yang menghilangkan sel-T dari sumsum donor sebelum transplantasi, juga tersedia yang mengarah pada pengurangan penyakit graft-host pada penyakit graft-host (Tadjine M, et al, 2004).

d. Gangguan Metabolisme

Tidak diragukan lagi bahwa gangguan metabolisme seperti diabetes, hiperkolesterolemia telah menjadi tantangan besar dalam pengobatan manusia. Salah satu bidang di mana terapi Mabs diterapkan termasuk gangguan metabolisme. Reseptor berpasangan protein G (GPCR) terlibat dalam berbagai macam penyakit metabolik. Dengan demikian, ilmuwan telah menggunakan fraksi membran GPCRs sebagai target untuk menghasilkan Mabs untuk penyembuhan gangguan metabolisme (Hipser C, et al, 2010). Antibodi monoklonal telah diproduksi melawan reseptor glukagon manusia (GCGR) dari jalur sel stabil melalui jalur transgenik. XenoMouse peron. Ini kandidat Mabs menunjukkan aktivitas antagonis potensial dalam mengurangi kadar glukosa darah dengan penghambatan jangka panjang yang dihasilkan dari pensinyalan GCGR dalam model tikus, membuatnya efektif untuk mengendalikan penderita diabetes hiperglikemia (Burak MF, et al, 2015).

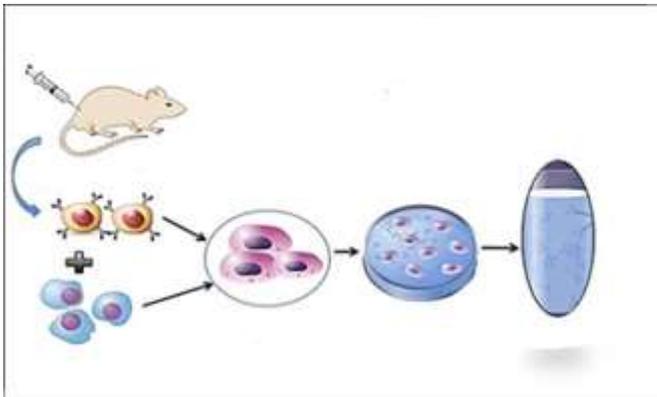
Para ilmuwan di Harvard School of Public Health baru-baru ini menemukan pengobatan baru untuk diabetes tipe 2 melalui penggunaan Mabs baru yang menargetkan protein pengikat asam lemak aP2 yang disekresikan. Ini adalah protein pendamping intraseluler (aP2FABP4) yang berkontribusi terhadap hiperglikemia baik dengan mendorong

glukoneogenesis hati atau melawan kerja insulin perifer, atau dengan kombinasi keduanya. Protein pengikat asam lemak (aP2) telah diimplikasikan sebagai penyebab patologi dari banyak penyakit metabolik pada manusia. Setelah pengobatan eksperimental tikus dengan aP2-Mab, terjadi peningkatan metabolisme glukosa total, peningkatan sensitivitas insulin sistemik, penurunan glukosa darah puasa dan penurunan massa lemak dan steatosis hati pada model tikus obesitas. Pendekatan ini telah membukaa paradigma yang menjanjikan untuk pengobatan diabetes tipe 2 (Burak MF, et al, 2015).

Di antara faktor risiko utama penyakit kardiovaskular adalah hiperkolesterolemia. Penatalaksanaan yang efektif dari kondisi ini terutama dicapai dengan statin sebagai terapi lini pertama, dengan penurunan kadar kolesterol yang dilaporkan hingga 50% telah telah dilaporkan (Lebenthal Y, et al, 2010). Lainnya adalah direkomendasikan hanya jika statin tidak dapat ditoleransi. Manajemen berbasis diet adalah terapi andalan pada anak-anak. Namun, pada 2010, tidak ada penelitian yang menunjukkan hasil klinis yang lebih baik (Catapano AL, et al, 2011). Ini memerlukan penggunaan agen penurun lipid lain karena efek samping pada pasien yang tidak dapat ditoleransi statin, terutama mereka dengan risiko penyakit kardiovaskular yang sangat tinggi (Dadu RT, Ballantyne CM, 2014). Peningkatan kadar kolesterol lipoprotein densitas rendah (LDL-C) dilaporkan menjadi penyebab utama gangguan metabolisme. Studi yang bertujuan untuk menghalangi itu proprotein convertase (subtilisin / kexin) tipe 9 (PCSK9) untuk menurunkan kadar LDL-C telah dilakukan melalui pengembangan dari Mabs. EvolocuMab dan AlirocuMab ditemukan aman dan ditoleransi dengan baik (Navarese EP, et al, 2015). Kedua antibodi tersebut dilaporkan secara substansial mengurangi tingkat LDL-C lebih dari 50%, meningkat kepadatan tinggi lipoprotein kolesterol (HDL-C) dan menghasilkan perubahan yang menguntungkan pada lipid lain (Zhang XL, et al, 2015).

G. PENGGUNAAN ANTIBODI MONOKLONAL (MABS) DALAM BIOMEDIS

Sistem kekebalan bertindak sebagai pertahanan terhadap berbagai agen infeksi yang menyebabkan berbagai bentuk penyakit. Dua komponen utama adalah respon imun humoral (dimediasi antibodi) dan seluler (dimediasi sel). Sistem kekebalan humoral yang terdiri dari limfosit B mengenali jenis antigen asing yang menyerang dan menghasilkan antibodi spesifik untuk melawannya (Treviño SR, et al, 2006). Dua karakteristik penting dari sebuah antibodi adalah spesifitasnya terhadap antigen, dan jaminannya untuk memberikan resistensi terus-menerus terhadap jenis antigen tertentu (Smith BT, 2012). Mengingat fitur uniknya, para ilmuwan menggunakannya untuk perlindungan dari manusia melawan penyakit. Teknik untuk *in vitro* produksi antibodi juga dikembangkan, menghasilkan produksi antibodi monoklonal untuk aplikasi diagnostik dan terapeutik (Ribatti D, 2014). Meski produksi antibodi memiliki beberapa prosedur, prinsipnya umumnya tetap serupa dengan yang diilustrasikan pada gambar 5.



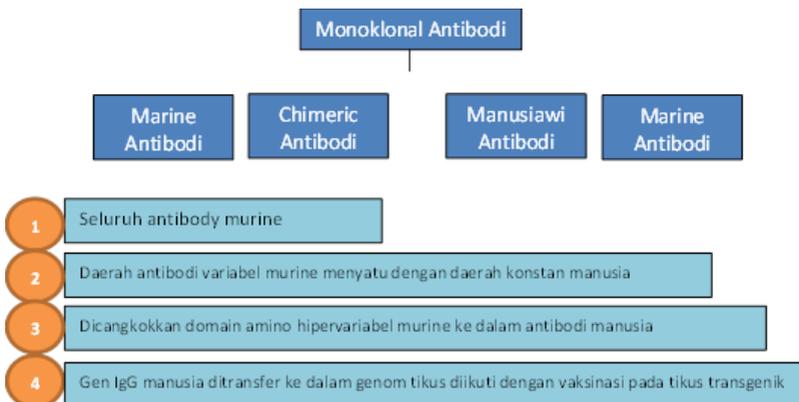
Gambar 14.5 Langkah-langkah yang terlibat dalam produksi Mabs.
Dimodifikasi dari: Aliyu Mahmuda, et al, 2017.

Karena perkembangan fase baru terapi di bidang kedokteran, penerapan Mabs dalam pengobatan beberapa kondisi penyakit telah menjadi yang terdepan [4]. Pada tahun 2002, Mabs manusia pertama yang digunakan dalam praktik klinis telah disetujui oleh Food and Drug

Administration Amerika Serikat. Sejak itu, industri produksi Mabs telah berkembang pesat (Nelson AL, et al, 2010). Penggunaan yang diantisipasi Mabs menentukan jumlah pasti yang dibutuhkan untuk melaksanakan berbagai aktivitas. Hanya sejumlah kecil Mabs (0,1 g) yang diperlukan untuk melakukan sebagian besar penelitian dan pekerjaan analitik (Ghosh S, Ansar W, 2013). Sekitar 30 Mabs baru-baru ini diterima untuk penggunaan klinis sebagai terapi, dengan beberapa lainnya telah di berbagai tahap uji coba (Li J, Zhu Z, 2010). Meskipun ada penelitian saat ini yang bertujuan untuk meningkatkan kemanjuran dari ada Mabs melalui penelitian mandiri. Hal ini diharapkan dapat mengontrol pengelolaan berbagai penyakit di masa mendatang di kedua klinis dan perspektif ekonomi Rita Costa A, et al, 2010).

H. JENIS-JENIS ANTIBODI MONOKLONAL (MABS) UNTUK KEPENTINGAN TERAPEUTIK

Kemajuan dalam rekayasa antibodi telah menghasilkan berbagai jenis Mabs untuk aplikasi dalam ilmu hayati dan biomedis. Jenis antibodi ini mungkin memiliki prinsip yang sama, tetapi target dan aplikasi berbeda. Selain itu, pilihan satu metode di atas metode lainnya dapat dipandu oleh beberapa faktor, termasuk tujuan aplikasi, ketersediaan, dan efektivitas (Gambar 6).



Gambar 14.6 Jenis Mabs Terapeutik dan Metode Produksinya.
Dimodifikasi dari: Aliyu Mahmuda, et al, 2017.

1. Murine Mabs

Penggunaan antibodi murine yang dihasilkan oleh teknologi hibridoma dalam terapi manusia (pengobatan klinis) terbatas, karena perbedaan antara sistem kekebalan manusia dan hewan pengerat. Hal ini biasanya mengakibatkan kegagalan pengobatan, dengan pengecualian beberapa tertentu keadaan (Bernett MJ, et al, 2010). Murine antibodi memiliki efek stimulasi sitotoksitas ringan. Jadi, mereka kontinu pemberian sering mengakibatkan reaksi alergi dan syok anafilaksis, akibat produksi antibodi anti-tikus manusia (HAMA) yang selalu menyerang Mabs murine yang diberikan dan pada gilirannya merangsang respons alergi [6-8]. Anti-CD3 Mabs yang berasal dari murine (OKT-3) adalah Mabs terapeutik pertama yang disetujui untuk penggunaan klinis dalam pengobatan manusia. Namun, Mabs gagal dalam pengobatan penolakan transplantasi, terutama karena menyebabkan respon antibodi anti-tikus (HAMA) manusia yang parah pada pasien (Kurosawa N, et al, 2012). Untuk meminimalkan efek imunogenik murine Mabs dalam terapi manusia, komponen imunogenik murine dihilangkan dengan peningkatan efisiensi melalui berbagai pendekatan (Rodrigues ME, et al, 2010). Imunogenisitas total Mab oleh karena itu berkurang tanpa mempengaruhi kemampuan pengenalan dari antibodi asli (Brezski RJ, Almagro JC, 2012). Antibodi yang dihasilkan dari humanisasi menjadi lebih relevan dalam pengobatan penyakit inflamasi dan kanker, dengan beberapa produk antibodi tersedia di pasaran, dan yang lainnya sedang menjalani uji klinis (O'Brien LM, et al, 2012). Karena Mabs murine mengandung molekul protein asing, sebagian besar reagen awal untuk penggunaan klinis merangsang respons imun yang tidak diinginkan di manusia pasien. Baru saja, kemajuan biologi molekuler telah menghasilkan *in vitro* manipulasi gen dan ekspresi selanjutnya dari urutan yang dimanipulasi ini dalam protokol kultur sel mamalia, bakteri atau jamur. Dengan demikian, hal ini memastikan pilihan yang lebih baik untuk merekayasa ulang Mab murine untuk menggantikan sebagian fragmen antibodi hewan pengerat dengan urutan antibodi manusia yang sesuai.

2. Mabs Chimeric

Antibodi chimeric adalah jenis khusus dari antibodi terapeutik yang dibuat dengan kombinasi bahan genetik dari manusia dan non-manusia (tikus). Mereka diproduksi melalui manipulasi wilayah konstan manusia dan wilayah variabel tikus [15]. Antibodi ini terdiri dari sekitar 65% komponen genetik manusia untuk meminimalkan risiko reaksi yang tidak diinginkan terhadap antibodi asing. Menariknya, administrasi Makanan dan Obat telah menyetujui beberapa obat yang didasarkan pada antibodi chimeric untuk digunakan dalam terapi dan penelitian manusia. Tata nama untuk penamaan chimeric Mabs diakhiri dengan sufiks "xiMab" misalnya, Infliximab, Rituximab, Abciximab (Mak TM, et al, 2014).

3. Mabs Manusiawi

Mabs manusia (HMA) telah dianggap sebagai obat alami karena keamanannya in vivo kegiatan. Modifikasi di bidang teknologi Mab telah membuat Mabs manusia diterapkan secara luas dalam terapi berbagai penyakit, serta dalam pengembangan imunodiagnostik baru. Sejumlah sekitar 20 obat Mab, termasuk Mabs tikus yang dimanusiakan, telah diterima sebagai reagen terapeutik selama beberapa dekade terakhir. Mabs lain pada tahap uji klinis yang berbeda, dan dikendalikan oleh lembaga penelitian yang berbeda, dan / atau bekerja sama dengan perusahaan farmasi. Penggunaan teknologi Mab manusia tidak hanya terbatas pada penelitian strategis, tetapi juga bernilai tinggi dalam ekonomi kesehatan (Wang S, 2011). Dalam antibodi manusiawi, daerah variabel hiper dicangkokkan ke kerangka domain variabel manusia. Molekul antibodi hampir 95% berasal dari manusia. Mereka kadang-kadang lebih lemah dari antibodi monoklonal murine induk dalam hal pengikatan dengan antigen (Chandel P, Harikumar SL, 2013). Untuk meningkatkan afinitas pengikatan antibodi-antigen, teknik seperti pengacakan pengacakan rantai dapat digunakan untuk memperkenalkan beberapa transformasi ke dalam wilayah penentu komplementaritas (CDR). Contoh dari Disetujui FDA dimanusiakan antibodi termasuk daclizumab, omalizumab, alemtuzumab (Harding FA, et al, 2010).

4. Mabs Sepenuhnya Manusia

Produksi Mab manusia oleh konvensional teknik hibridoma relatif sulit karena tekanan yang terlibat dalam mempertahankan garis sel yang diabadikan dan hibridoma manusia. Itu juga tidak layak untuk in vivo imunisasi manusia dengan banyak antigen berbeda dibandingkan dengan penggunaan model hewan (Bernett MJ, et al, 2010). Namun, metode untuk produksi Mabs manusia dimungkinkan melalui ekspresi fragmen antibodi atau fragmen variabel sel tunggal (Fab atau ScFv) pada bakteri. Demikian pula, fragmen antibodi dapat ditampilkan pada bakteriofag berfilamen untuk skrining perpustakaan antibodi [Steinitz M, 2014; Medecigo M, et al, 2010]. Generasi Mabs manusia sepenuhnya berfungsi sebagai alternatif untuk merekayasa ulang Mabs murine dengan sumber antibodi terapeutik imunogenik rendah. Kebanyakan obat ini tikus transgenik atau Namun, ada diantara mereka masih belum ada perbedaan yang jelas dihasilkan menggunakan salah satu platform tampilan phage.

Teknik tampilan fag adalah metode yang mapan dan paling banyak digunakan untuk pengembangan antibodi manusia baru (Solforosi L, et al, 2012). Atau, menggunakan tikus transgenik yang mengandung imunoglobulin manusia dapat menjadi strategi untuk produksi Mabs manusia. Hibridoma yang menghasilkan antibodi manusia dapat dihasilkan karena respons antibodi manusia yang dihasilkan dari imunisasi tikus transgenik. Pada tahun 2003, Humira[®], obat Mab manusia pertama yang diberikan makan siang untuk pengobatan rheumatoid arthritis (Ahmad ZA, et al, 2012). AdalimuMab[®] dan PanitimuMab[®] adalah di antara Mabs terapeutik manusia sepenuhnya yang dipasarkan, sementara beberapa lainnya sedang dalam berbagai tahap pengujian klinis pada manusia. Dua platform dasar telah menunjukkan hasil yang aktif dan terapi ditoleransi dengan baik untuk penggunaan klinis Mabs manusia sepenuhnya. Ini termasuk tikus transgenik dan platform tampilan fag (Chandel P, Harikumar SL, 2013).

I. RANGKUMAN MATERI

Meskipun Mabs pertama yang disetujui sebagai agen terapeutik pada umumnya dilaporkan tidak dapat ditoleransi sebagai terapi, teknologi hybridoma telah menghasilkan Mabs yang saat ini lebih efektif dan aman. Banyak dari Mabs generasi baru ini telah disetujui untuk terapi manusia. Banyak upaya rekayasa telah mengarah pada evolusi antibodi terapeutik yang dimodifikasi dengan harapan meningkatkan kemanjuran dan keamanannya sebagai obat berbasis antibodi. Upaya ini termasuk chimerization antibodi, humanisasi dan itu pengembangan antibodi manusia sepenuhnya. Tidak ada keraguan bahwa masa depan Mabs akan mempengaruhi pengobatan penyakit menular, kanker dan kondisi lain seperti Alzheimer dan Parkinsonisme. Apakah Mabs terapeutik akan lebih berlimpah secara komersial dan terjangkau dalam waktu dekat, akan sangat bergantung pada masalah kemajuan pesat dalam ilmu bioteknologi dan biomolekuler serta hasil dari uji klinis berbagai hasil penelitian yang terus dilakukan.

TUGAS DAN EVALUASI

1. Apa yang dimaksud dengan antibodi monoklonal?
2. Jelaskan mekanisme pembuatan antibody monoclonal?
3. Antibodi monoklonal dapat menyembuhkan atau memperpanjang kanker? Berikan penjelasan tentang efek samping jangka panjang dan jangka pendek?
4. Jelaskan tujuan utama produksi monoklonal antibodi?
5. Jenis-jenis antibodi monoklonal (mabs) untuk kepentingan terapeutik?

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad ZA, Yeap SK, Ali AM, Ho WY, Alitheen NBM, Hamid M. ScFv antibody: Principles and clinical application. *Clin Dev Immunol* 2012; 1–15.
- Aliyu Mahmuda, Faruku Bande, Khalid Jameel Kadhim Al-Zihiry, Noor Abdulhaleem, Roslaini Abd Majid, Rukman Awang Hamat, Wan Omar Abdullah and Zasmy Unyah. Monoclonal antibodies: A review of therapeutic applications and future prospects. *Tropical Journal of Pharmaceutical Research* March 2017; 16 (3): 713-722.
- Bernett MJ, Karki S, G Moore GL, Leung IWL, Chen H, Pong E, Nguyen DHT, Jacinto J, Zalevsky J, Muchhal US, et al. Engineering Fully Human Monoclonal Antibodies from Murine Variable Regions. *J Mol Biol* 2010; 396(5):1474–1490.
- Brezski RJ, Almagro JC. Application of Antibody Engineering in the Development of Next Generation Antibody-Based Therapeutics. *Dev Antibody-Based Therap* 2012; 4(29): 65-93.
- Burak MF, Inouye KE, White A, Lee A, Tuncman G, Calay ES, Sekiya M, Tirosh A, Eguchi K, Birrane G, Development of a therapeutic monoclonal antibody that targets secreted fatty acid-binding protein aP2 to treat type 2 diabetes. *Sci Transl Med* 2015; 7(309): 319-205.
- Campara M, Tzvetanov IG, Oberholzer J. Interleukin-2 receptor blockade with humanized monoclonal antibody for solid organ transplantation. *Expert Opin Biol Ther* 2010; 10(6): 959–969.
- Catapano AL, Reiner Z, De Backer G, Graham I, Taskinen MR, Wiklund O, Agewall S, Alegria E, Chapman MJ, Durrington P. SC/EAS Guidelines for the management of dyslipidaemias. The Task Force for the management of dyslipidaemias of the European Society of Cardiology (ESC) and the European Atherosclerosis Society (EAS). *Atherosclerosis* 2011; 217(1): 3–46.
- Chan AC, Carter PJ. Therapeutic antibodies for autoimmunity and inflammation. *Nat Rev Immunol* 2010; 10(5): 301–316.
- Chandel P, Harikumar SL. Pharmaceutical monoclonal antibodies: Production, guidelines to cell engineering and applications. *Int J Pharm Pharm Sci* 2013; 5(2):13–20.

- Chen F, Wang D. Novel technologies for the prevention and treatment of dental caries: a patent survey. *Expert Opin Ther Pat* 2010; 20(5): 681–694.
- Dadu RT, Ballantyne CM. Lipid lowering with PCSK9 inhibitors. *Nat Rev Cardiol* 2014; 11(10): 563–575.
- Ducry L, Stump B. Antibody-drug conjugates: Linking cytotoxic payloads to monoclonal antibodies. *Bioconj Chem* 2010; 21(1): 5–13.
- Ecker DM, Jones SD, Levine HL. The therapeutic monoclonal antibody market. *Mabs*. 2015; 7:9 – 14.
- Edwards PA. Some properties and applications of monoclonal antibodies. *Biochem J*. 1981; 200(1):1–10.
- Foster RH, Wiseman LR. AbcixiMab. An updated review of its use in ischaemic heart disease. *Drugs*. 1998; 56: 629–65.
- Ghosh S, Ansar W. Monoclonal Antibodies: A Tool in Clinical Research. *Indian J Clin Med* 2013; 4: 9–12.
- Gibson TB, Ranganathan A, Grothey A. Randomized phase III trial results of panitumuMab, a fully human anti-epidermal growth factor receptor monoclonal antibody, in metastatic colorectal cancer. *Clin Colorectal Cancer*. 2006; 6: 29–31.
- Hao Y, Zhao X, Yang J, Gu Y, Sun R, Zhu X. Monoclonal antibody targeting complement C9 binding domain of *Trichinella spiralis* paramyosin impairs the viability of *Trichinella* infective larvae in the presence of complement. *Parasit Vect* 2014; 7(1): 313.
- Harding FA, Stickler MM, Razo J, DuBridghe RB. The immunogenicity of humanized and fully human antibodies: Residual immunogenicity resides in the CDR regions. *Mabs* 2010; 2(3): 256–265.
- Hipser C, Bushlin I, Gupta A, Gomes I, Devi LA. Role of antibodies in developing drugs that target G-proteincoupled receptor dimers. *Mount Sinai J Medi* 2010; 77(4): 374–380.
- Hutchings CJ, Koglin M, Marshall FH. Therapeutic antibodies directed at G protein-coupled receptors. *Mabs*, 2010; 2(6): 594–606.
- Kempeni J. Preliminary results of early clinical trials with the fully human antiTNFalpha monoclonal antibody D2E7. *Ann Rheum Dis*. 1999; 58(Suppl 1): I70–2.

- Köhler G, Milstein C. Continuous cultures of fused cells secreting antibody of predefined specificity. *Nature*. 1975; 256(5517): 495–457.
- Kurosawa N, Yoshioka M, Fujimoto R, Yamagishi F, Isobe M. Rapid production of antigen-specific monoclonal antibodies from a variety of animals. *BMC Biology* 2012; 10(1): 80.
- Lambert JM, Chari RVJ, Ado-trastuzuMab Emtansine (TDM1): An Antibody-Drug Conjugate (ADC) for HER2-Positive Breast Cancer. *J Med Chem* 2014; 57(16): 6949–64.
- Lebenthal Y, Horvath A, Dziechciarz P, Szajewska H, Shamir R. Are treatment targets for hypercholesterolemia evidence based? Systematic review and meta-analysis of randomised controlled trials. *Arch Dis Child* 2010; 95(9): 673–680.
- Li J, Zhu Z. Research and development of next generation of antibody-based therapeutics. *Acta Pharmacol Sin* 2010; 31(9): 1198–1207.
- Liu JKH, The history of monoclonal antibody development – Progress, remaining challenges and future innovations. *Ann Med Surg* 2014; 3(4): 113–116.
- Lonberg N, Taylor LD, Harding FA, Trounstine M, Higgins KM, Schramm SR, et al. Antigen-specific human antibodies from mice comprising four distinct genetic modifications. *Nature*. 1994; 368: 856–9.
- Mak TM, Hanson BJ, Tan YJ. Chimerization and characterization of a monoclonal antibody with potent neutralizing activity across multiple influenza A H5N1 clades. *Antiviral Res* 2014; 107(1): 76–83.
- Maloney DG, Grillo-Lopez AJ, Bodkin DJ, White CA, Liles TM, Royston I, et al. IDEC-C2B8: results of a phase I multiple-dose trial in patients with relapsed non-Hodgkin's lymphoma. *J Clin Oncol*. 1997; 15: 3266–74.
- Maloney DG, Grillo-Lopez AJ, White CA, Bodkin D, Schilder RJ, Neidhart JA, et al. IDEC-C2B8 (RituxiMab) anti-CD20 monoclonal antibody therapy in patients with relapsed low-grade non-Hodgkin's lymphoma. *Blood*. 1997; 90: 2188 – 95.
- McCafferty J, Griffiths AD, Winter G, Chiswell DJ. Phage antibodies: filamentous phage displaying antibody variable domains. *Nature*. 1990; 348: 552–4.
- Medecigo M, Manoutcharian K, Vasilevko V, Govezensky T, Munguia ME, Becerril B, Luz-Madrigal A, Vaca L, Cribbs DH, Gevorkian G. Novel

- amyloid-beta specific scFv and VH antibody fragments from human and mouse phage display antibody libraries. *J Neuroimmunol* 2010; 223(1): 104–114.
- Mendez MJ, Green LL, Corvalan JR, Jia XC, Maynard-Currie CE, Yang XD, et al. Functional transplant of megabase human immunoglobulin loci recapitulates human antibody response in mice. *Nat Genet.* 1997; 15: 146–56.
- Moroni M, Veronese S, Benvenuti S, Marrapese G, Sartore-Bianchi A, Di Nicolantonio F, et al. Gene copy number for epidermal growth factor receptor (EGFR) and clinical response to anti EGFR treatment in colorectal cancer: a cohort study. *Lancet Oncol.* 2005; 6: 279–86.
- Mumaw MM, de la Fuente M, Arachiche A, Wahl JK, Nieman MT. Development and characterization of monoclonal antibodies against Protease Activated Receptor 4 (PAR4). *Thromb Res* 2015; 135(6): 1165–1171.
- Navarese EP, Kołodziejczak M, Schulze V, Gurbel PA, Tantry U, Lin Y, Brockmeyer M, Kandzari DE, Kubica JM, D’Agostino RB. Effects of proprotein convertase subtilisin/kexin type 9 antibodies in adults with hypercholesterolemia: A systematic review and metaanalysis. *Ann Intern Med* 2015; 163(1): 40–51.
- Nelson AL, Dhimolea E, Reichert JM. Development trends for human monoclonal antibody therapeutics. *Nat Rev Drug Discovery* 2010; 9(10): 767–774.
- O’Brien LM, Goodchild SA, Phillipotts RJ, Perkins SD. A humanised murine monoclonal antibody protects mice from Venezuelan equine encephalitis virus, Everglades’s virus and Mucambo virus when administered up to 48h after airborne challenge. *Virology* 2012; 426(2): 100–105.
- Ribatti D. From the discovery of monoclonal antibodies to their therapeutic application: An historical reappraisal, *Immunol Letters* 2014; 161(1): 96–99.
- Rita Costa A, Elisa Rodrigues M, Henriques M, Azeredo J, Oliveira R. Guidelines to cell engineering for monoclonal antibody production. *European J Pharma and Biopharm* 2010; 74(2): 127–138.

- Rodrigues ME, Costa AR, Henriques M, Azeredo J, Oliveira R. Technological progresses in monoclonal antibody production systems. *Biotechnol Prog* 2010; 26(2): 332–351.
- Smith BT. Introduction to Diagnostic and Therapeutic. *Univ New Mex Heal Sci Cent* 2012; 17(0039): 1–34.
- Solfrosi L, Mancini N, Canducci F, Clementi N, Sautto GA, Diotti RA, Clementi M, Burioni R. A phage display vector optimized for the generation of human antibody combinatorial libraries and the molecular cloning of monoclonal antibody fragments. *New Microbiol* 2012; 35(3):289–294.
- Steinitz M. Human Monoclonal Antibodies. in *Methods in molecular biology* (Clifton, N.J.), 2014; 1060: 111–22.
- Tadjine M, Mittal KR, Bourdon S, Gottschalk M. Production and characterization of murine monoclonal antibodies against *Haemophilus parasuis* and study of their protective role in mice. *Microbiol* 2004; 150(12): 3935–45.
- Treviño SR, Permenter AR, England MJ, Parthasarathy N, Gibbs PH, Waag DM, Chanh TC, Trevin SR. Monoclonal Antibodies Passively Protect BALB/c Mice against *Burkholderia mallei* Aerosol challenge. *Infect Immun* 2006; 74(3): 1956–1961.
- Tsurushita N, Hinton PR, and Kumar S. Design of humanized antibodies: from anti-Tac to Zenapax. *Methods*. 2005; 36:69–83.
- Tyagi S, Sharma PK, Kumar N, Visht S. Hybridoma technique in pharmaceutical science. *International Journal of Pharm Tech Research*. 2011; 3(1): 459–463,
- Waliza Ansar, Shyamasree Ghosh. Monoclonal Antibodies: a tool in clinical research. *Indian Journal of Clinical Medicine* 2013: 4 9–21.
- Walker LM, Huber M, Doores KJ, Falkowska E, Pejchal R, Julien JP, Wang SK, Ramos A, Chan-Hui PY, Moyle M. Broad neutralization coverage of HIV by multiple highly potent antibodies. *Nature* 2011; 477(7365): 466–470.
- Wang S. Advances in the production of human monoclonal antibodies. *Antib Technol J* 2011; 1: 1–4.

- Watier H, Reichert J. Evolution of antibody therapeutics. In: Vaughan T, Osbourn J, Jallal B, editors. Protein therapeutics. Weinheim: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co, KGaA; 2017. p. 25 – 49.
- Wu CH, Liu IJ, Lu RM, Wu HC. Advancement and applications of peptide phage display technology in biomedical science. *J Biomed Sci.* 2016; 23:8.
- Xiong W, Huang W, Jiao Y, Ma J, Yu M, Ma M, Wu H, Tan D. Production, purification and characterization of mouse monoclonal antibodies against human mitochondrial transcription termination factor 2 (MTERF2). *Protein Expr Purif* 2012; 82(1): 11–19.
- Zhang XL, Zhu QQ, Zhu L, Chen JZ, Chen QH, Li GN, Xie J, Kang LN, Xu B. Safety and efficacy of anti-PCSK9 antibodies: a meta-analysis of 25 randomized, controlled trials. *BMC Med* 2015; 13: 123.
- Zola, H. Monoclonal antibodies. In: *Encyclopedia of Life Sciences.* John Wiley & Sons: Chichester, UK; 2010: 1–9.



BAB
15

BIOTEKNOLOGI MODERN (MANIPULASI KROMOSOM)

Victor David Nico Gultom, S.Kel, M.Sc., Ph.D
Universitas Satya Negara Indonesia (USNI)

A. PENDAHULUAN

Metode manipulasi kromosom adalah salah satu metode pada bidang bioteknologi yang dipergunakan untuk memanipulasi informasi genetika dan memuliakan sifat genetika suatu makhluk hidup. Pada bidang agrikultur, manipulasi kromosom sudah berhasil menghasilkan tanaman yang memiliki kualitas lebih baik dan meningkatkan produktivitas. Pada bidang peternakan, manipulasi kromosom sulit dilakukan atau bahkan mustahil dilakukan karena sifat genetika hewan ternak yang tidak mudah dimanipulasi. Sebaliknya, pada bidang akuakultur, manipulasi kromosom berkembang sangat pesat. Manipulasi kromosom berhasil meningkatkan produksi akuakultur melalui metode ginogenesis, androgenesis dan poliploidi. Kesuksesan penerapan metode-metode tersebut pada bidang akuakultur disebabkan karena hewan akuatik lebih toleran terhadap manipulasi kromosom dan mempunyai fertilisasi eksternal yang memudahkan proses manipulasi.

Bab ini membahas tentang definisi serta fungsi kromosom secara umum dan fungsi kromosom seks sebagai penentu jenis kelamin pada hewan. Beberapa metode utama manipulasi kromosom juga dijelaskan beserta contoh hewan yang sudah berhasil dimanipulasi dan keuntungan yang didapat dari proses manipulasi tersebut.

B. RINCIAN PEMBAHASAN MATERI

1. Sejarah Penelitian Tentang Kromosom

Setiap organisme memiliki kumpulan set kromosom yang unik. Pada banyak jenis hewan, kromosom berperan penting dalam penentuan jenis kelamin. Pada awal abad ke 20, ilmuwan Amerika bernama Thomas Hunt Morgan dan Edmund Beecher Wilson bekerja sama untuk mengungkap fungsi kromosom dalam penentuan jenis kelamin suatu individu dan mengungkap gen khusus yang hanya dimiliki jenis kelamin tertentu.

Kromosom pertama kali ditemukan pada pertengahan abad ke 19 oleh ilmuwan Jerman bernama W. Waldeyer. Waldeyer meneteskan zat pewarna pada sel yang sedang membelah supaya kromosom dapat dilihat dan diamati.

2. Definisi Kromosom

Kromosom adalah molekul berbentuk seperti untaian benang yang membawa semua informasi keturunan. Kromosom terbuat dari protein dan DNA yang menyimpan informasi genetik yang diwariskan dari masing-masing induk. Kromosom tersimpan dalam inti sel manusia, hewan dan tanaman dan berada dalam kondisi pasangan, kecuali pada sel kelamin (sel gamet) yang berada dalam kondisi tunggal. Setiap sel somatik mempunyai 2 set kromosom, masing-masing merupakan warisan dari pasangan induk.

Manusia mempunyai 22 pasang kromosom tubuh (autosom) dan 1 pasang kromosom seks (gonosom). Total kromosom manusia adalah 46 kromosom yang berupa 23 pasangan kromosom (Gambar 1). Sebagai perbandingan, ayam (*Gallus gallus domesticus*) memiliki 78 kromosom yang terdiri dari 38 pasang autosom dan 1 pasang gonosom sementara sapi potong (*Bos indicus*) memiliki 60 kromosom yang terdiri dari 29 pasang autosom dan 1 pasang gonosom.

3. Fungsi Kromosom

Kromosom mempunyai peran penting pada dua proses dalam tubuh yaitu :

- a. Penerusan informasi genetik dari satu generasi ke generasi berikutnya dan dari satu sel ke sel lainnya
- b. Penyediaan informasi yang mengatur fungsi dan perkembangan sel dalam tubuh melalui sintesa RNA dan DNA.

Selain kedua peran penting tersebut di atas, kromosom berperan penting dalam penentuan jenis kelamin pada sebagian besar hewan, terutama mamalia. Penentuan jenis kelamin dipengaruhi oleh jenis kromosom seks yang diwariskan masing-masing induk jantan dan induk betina kepada keturunannya. Melalui proses pemijahan dan pembuahan, terjadi pencampuran informasi genetik antara induk jantan dan betina. Jenis kromosom seks yang diterima zigot saat proses pembuahan menyebabkan individu tersebut tumbuh menjadi individu jantan atau individu betina. Hal ini disebabkan karena adanya gen khusus pada kromosom seks yang berfungsi memicu perkembangan sifat dan karakteristik tubuh individu jantan atau betina

Kromosom Seks Dan Penentuan Jenis Kelamin

Banyak hewan yang melakukan reproduksi secara seksual dan mempunyai jenis kelamin berbeda serta kromosom seks yang berbeda. Kromosom seks biasanya berupa sepasang kromosom yang sama pada satu jenis kelamin tapi berbeda pada jenis kelamin lainnya. Pada semua mamalia dan unggas, sebagian reptil, ikan dan serangga, adanya kesamaan atau adanya perbedaan kromosom seks yang diwariskan dari masing-masing induk akan menentukan jenis kelamin hewan tersebut (Lahn et al., 2001.)

Kromosom seks pertama kali diamati pada belalang betina yang memiliki dua kromosom seks yang sama sementara pada belalang jantan hanya ditemukan satu kromosom. Kromosom unik yang berhubungan dengan jenis kelamin ini dinamakan kromosom X karena fungsi kromosom tersebut belum diketahui (pada saat itu). Pada serangga lain seperti lalat buah (*Drosophilla melanogaster*), lalat buah betina memiliki 2 kromosom X sementara lalat buah jantan memiliki 1 kromosom X. Ternyata, selain kromosom X, lalat buah jantan juga memiliki kromosom seks khusus jenis

kelamin jantan yang berukuran lebih kecil dan kemudian dinamakan kromosom Y (Tabel 1). Susunan kromosom seks yang sama juga ditemukan pada manusia (Gambar 1). Sebaliknya, pada ngengat dan kupu-kupu, hewan jantan mempunyai 2 kromosom seks yang sama dan dinamakan kromosom Z sedangkan kupu-kupu betina mempunyai 1 kromosom Z dan 1 kromosom W yang berukuran lebih kecil.



Gambar 15.1 Kariotipe kromosom pria normal menunjukkan 46 kromosom, termasuk kromosom X dan Y. Perhatikan perbedaan ukuran kromosom X dan kromosom Y (Wyat, 2013)

Tabel 15.1 Sistem penentuan jenis kelamin berdasarkan susunan pasangan kromosom seks pada hewan

Pasangan Kromosom	Jantan	Betina	Contoh hewan
XX/XY	XY	XX	Hampir semua mamalia, sebagian serangga, sebagian ikan
XX/XO	XO	XX	Belalang, sebagian serangga, cacing
ZW/ZZ	ZZ	ZW	Unggas, beberapa reptil, sebagian ikan

4. Tujuan Manipulasi Kromosom

Pertambahan jumlah penduduk dunia mengakibatkan semakin bertambahnya kebutuhan bahan makanan. Manipulasi kromosom pada bidang agrikultur telah berhasil meningkatkan produksi, meningkatkan kualitas tanaman dan menghasilkan tanaman yang lebih tahan terhadap kondisi lingkungan. Manipulasi kromosom menghasilkan buah yang berukuran lebih besar daripada ukuran normal, menghasilkan varietas tanaman tidak berbiji dan varietas yang performanya lebih baik daripada tanaman biasa.

Manipulasi kromosom pada bidang peternakan seperti sapi, kambing, babi dan ayam sulit berkembang. Hal ini disebabkan karena perubahan kromosom, baik secara alami maupun disengaja, dapat berakibat fatal.

Manipulasi kromosom adalah teknik untuk mengubah jumlah dan kombinasi kromosom. Manipulasi kromosom pertama kali dilakukan pada hewan amfibi. Pada bidang perikanan, terutama akuakultur, manipulasi kromosom berkembang pesat sejak tahun 1970an. Manipulasi kromosom memungkinkan terjadinya perbaikan sifat genetik pada ikan dan kerang-kerangan dalam waktu singkat. Ilmuwan tertarik meneliti teknik manipulasi kromosom karena potensinya dalam hal mengatur jenis kelamin hewan dan mengatur genom hewan. Dalam usaha peternakan dan perikanan, terkadang memelihara hewan jenis kelamin tertentu lebih menguntungkan. Dalam bidang peternakan, pemeliharaan sapi betina lebih menguntungkan karena menghasilkan susu dan melahirkan anak sapi sementara pemeliharaan ayam betina lebih disukai karena memproduksi telur.

Pada bidang perikanan, ikan dengan jenis kelamin tertentu lebih disukai karena berbagai alasan seperti pertumbuhan yang lebih cepat, bentuk dan warnanya yang lebih menarik atau karena bisa menghasilkan telur yang mahal. Sebagai contoh, untuk ikan hias seperti ikan cupang, ikan guppy dan ikan pelangi, ikan jantan lebih disukai dan bernilai lebih mahal karena memiliki bentuk dan warna yang lebih menarik dibandingkan ikan hias betina (Gambar 2). Untuk ikan konsumsi, ikan nila jantan pertumbuhannya lebih cepat dibandingkan ikan betina. Sebaliknya, ikan betok dan ikan salmon betina lebih berharga karena pertumbuhannya lebih cepat daripada ikan jantan (Slamat et al, 2017; Komen dan Thorgaard, 2007). Pembudidayaan ikan salmon dan ikan sturgeon betina lebih

menguntungkan karena menghasilkan telur ikan yang sangat mahal harganya.



Gambar 15.2 Ikan guppy jantan (atas) dan ikan guppy betina (bawah). Pola warna yang menarik pada ikan jantan merupakan alat pemikat ikan betina. Pola warna tersebut merupakan ekspresi dari gen yang terhubung dengan kromosom penentu jenis kelamin jantan yaitu kromosom Y (Lahn et al., 2001)

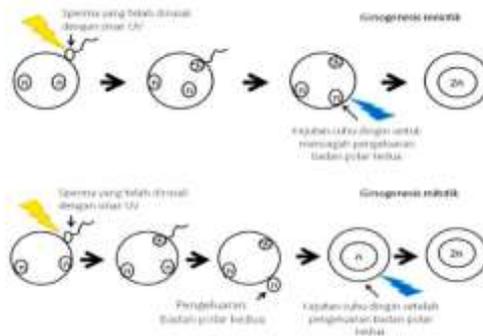
Bagi pembudidaya, memelihara ikan dengan jenis kelamin tertentu akan lebih menguntungkan. Sementara itu, hewan yang bersifat gonokoristik akan menghasilkan keturunan dengan rasio jantan dan betina = 1 : 1. Pada kondisi normal, ikan dipelihara hingga umur tertentu saat perbedaan fisik ikan jantan dan betina terlihat. Akibatnya, ikan berjenis kelamin dengan nilai ekonomi lebih rendah harus dipelihara dengan ikan berjenis kelamin dengan nilai ekonomi lebih tinggi sampai pada umur dimana jenis kelamin keduanya dapat dibedakan. Ikan yang kurang ekonomis akan disortir dan dibuang. Padahal ikan-ikan tersebut sudah dipelihara dan diberi pakan sampai pada tahap penyortiran. Tentu saja hal ini akan berakibat kerugian waktu, tempat, dan pengurangan keuntungan. Teknik manipulasi kromosom memungkinkan adanya pengaturan jenis kelamin sehingga benih yang dihasilkan berjenis kelamin tunggal (monoseks) dan sesuai keinginan pembudidaya.

5. Teknik Manipulasi Kromosom

Teknik manipulasi kromosom yang paling sering digunakan adalah teknik pengaturan jenis kelamin dan teknik produksi hewan yang memiliki set kromosom ekstra atau poliploidi. Kedua teknik ini banyak dilakukan di bidang perikanan atau akuakultur karena hewan akuatik terutama ikan dan kerang-kerangan memiliki sistem pembuahan eksternal dan sistem reproduksi yang dapat mentolerir manipulasi kromosom. Selain itu, sel gamet ikan mudah diperoleh, disimpan dan diperlakukan fertilisasi buatan. Ada 3 teknik manipulasi kromosom yang sering dilakukan, yaitu ginogenesis (pewarisan sifat genetik hanya dari induk betina), androgenesis (pewarisan sifat genetik hanya dari induk jantan), dan poliploidi (kondisi penambahan set kromosom ekstra).

6. Ginogenesis

Ginogenesis adalah suatu bentuk reproduksi aseksual dimana perkembangan embrio terjadi tanpa kontribusi genetik dari induk jantan tapi membutuhkan sel sperma untuk memicu perkembangan embrio. Di alam, metode reproduksi ginogenesis dilakukan oleh ikan moli (*Poecilia Formosa*) dan ikan mas koki (*Carassius auratus gibelio*). Proses pembuahan sel telur dilakukan oleh sel sperma dari spesies ikan kerabat (beda spesies tapi sejenis). Spesies ikan kerabat tersebut mempunyai sel sperma yang dapat memicu perkembangan embrio tetapi tidak dapat menyumbang materi genetiknya. Genom sel telur kemudian mengalami duplikasi agar embrio dapat berkembang secara normal (Gambar 3).



Gambar 15.3 Ginogenesis meiotik (atas) dan ginogenesis mitotik (bawah).

Gambar diadaptasi dari Manan et al. (2020).

Ginogenesis dikembangkan pada spesies-spesies akuakultur dimana hewan betina lebih ekonomis dan lebih menarik untuk dibudidayakan. Udang penaeida betina seperti pada udang vannamei, udang windu, udang putih mempunyai ukuran yang lebih besar dan pertumbuhan yang lebih cepat dibandingkan udang jantan (Manan et al., 2020).

Metode ginogenesis buatan pertama kali dilakukan oleh ilmuwan bernama Hertwig pada tahun 1911. Hertwig melakukan penyinaran terhadap sel sperma kodok dengan menggunakan sinar gamma. Setelah mendapatkan penyinaran dengan dosis tertentu, sel sperma masih dapat membuahi sel telur dan menghasilkan 100% embrio abnormal. Walaupun dosis penyinaran terus ditingkatkan, sel sperma masih dapat membuahi sel telur dan bahkan menghasilkan sejumlah kecil embrio normal. Akan tetapi, walaupun embrio terlihat normal dan mengalami perkembangan secara normal, larva yang menetas berwujud abnormal. Pada dosis yang sangat tinggi, sinar gamma akan merusak materi genetik sel sperma sehingga tidak dapat menyumbang informasi genetik apapun pada proses perkembangan sel telur tetapi masih dapat memicu perkembangan sel telur tersebut.

Sel telur mengalami perkembangan dan pembelahan. Pada akhirnya, sel telur ini tidak dapat berkembang secara normal karena hanya memiliki satu set kromosom dari induk betina (haploid). Untuk itu perlu dilakukan kejutan agar kromosom mengalami duplikasi (mempunyai 2 kromosom yang merupakan keadaan normal). Ada berbagai variasi kejutan yang telah berhasil diterapkan yaitu kejutan suhu, kejutan tekanan dan kejutan kimia. Sel telur tersebut kemudian diberi kejutan suhu, dengan suhu rendah atau suhu tinggi, atau kejutan kimia dengan cytochalasin-B supaya genom sel telur mengalami duplikasi. Setelah mengalami duplikasi, proses perkembangan embrio dapat berlangsung normal dan akhirnya menetas dalam wujud larva normal.

Kejutan suhu terhadap sel telur dilakukan untuk menghambat pelepasan badan polar kedua (ginogenesis meiotik) atau menghambat pembelahan mitosis pertama (ginogenesis mitotik). Larva yang dihasilkan dari ginogenesis meiotik mempunyai kromosom homozigot parsial sedangkan ginogenesis mitotik mempunyai kromosom homozigot penuh. Kromosom homozigot penuh berarti individu tersebut mempunyai dua kromosom yang sama persis atau identik. Salah satu kromosom merupakan

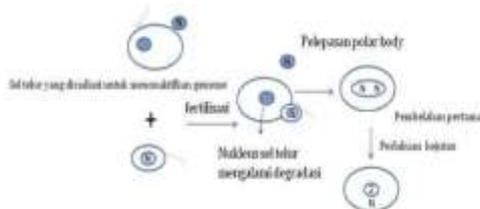
hasil klon kromosom lainnya. Ginogenetik meiotik lebih mudah dilakukan dan larva yang dihasilkan mempunyai tingkat sintasan yang lebih tinggi dibandingkan ginogenetik mitotik. Kejutan suhu dilakukan dengan menyiapkan wadah penetasan dengan suhu air yang bisa diatur dan stabil. Kejutan suhu panas umumnya diterapkan pada hewan air yang memiliki telur benthik atau telur yang menempel pada substrat dasar. Telur yang melekat pada substrat dapat diangkat dan dipindah dari kolam induk ke wadah penetasan.

Jenis ikan komersial yang sudah berhasil dikembangkan dengan metode ini adalah ikan nila, lele, karper dan salmon. Untuk moluska, ginogenesis sudah berhasil dikembangkan pada kima (*Crassostrea gigas*), abalon (*Haliotis discus hannai*), kerang remis biru (*Mytilus edulis*), dan kerang kampak (*Chlamys farreri*).

7. Androgenesis

Androgenesis tidak banyak dipelajari dibandingkan dengan poliploidi dan ginogenesis. Androgenesis secara alami dijumpai pada jenis ikan karper (*Cyprinus carpio*) dan grass carp (*Ctenopharyngodon idella*).

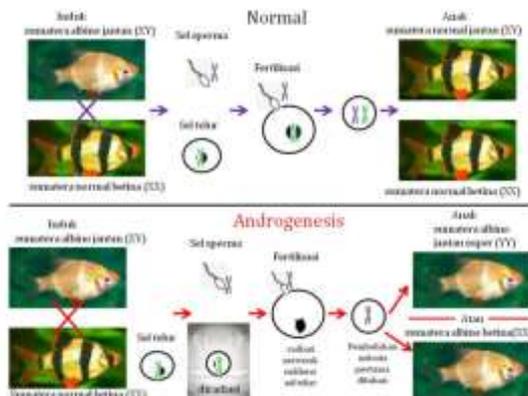
Androgenesis adalah suatu bentuk reproduksi aseksual dimana embrio berkembang tanpa sumbangan atau kontribusi genetik dari inti sel telur sehingga keturunan yang dihasilkan hanya memiliki genotip dari induk jantan. Agar androgenesis bisa terjadi, inti sel telur harus dirusak. Salah satu cara merusak sel telur adalah dengan cara penyinaran menggunakan sinar gamma, sinar X atau sinar UV. Saat proses penyinaran, sel telur harus direndam dalam cairan supaya sel telur tetap hidup setelah penyinaran (Gambar 4).



Gambar 15.4 Mekanisme androgenesis pada ikan (Diadaptasi dari Padhi dan Mandal, 2000)

Proses penyinaran sel telur dalam proses androgenesis menyebabkan kerusakan dan masalah lebih besar bagi embrio dibandingkan dengan penyinaran sel sperma pada proses ginogenesis. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh kerusakan pada konstituen atau penyusun sitoplasma. Untuk mengembalikan kondisi normal (diploid), sel sperma diberi kejutan berupa kejutan tekanan atau kejutan suhu pada saat pembelahan mitosis pertama agar terjadi duplikasi kromosom sehingga menjadi diploid (Gambar 5).

Dalam bidang akuakultur, androgenesis sudah berhasil dicoba pada ikan karper (*Cyprinus carpio*), ikan mas koki (*Carassius auratus*) dan ikan patin (*Pangasius sp.*). Umumnya, androgenesis hanya dilakukan pada ikan komersial penting dan ikan hias. Potensi penting androgenesis lainnya adalah kemampuan regenerasi stok ikan dengan menggunakan sperma kriopreservasi (dibekukan pada suhu rendah),



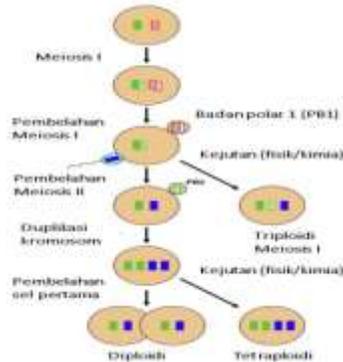
Gambar 15.5 Perbedaan fertilisasi normal (atas) dan androgenesis (bawah) pada ikan hias sumatera (*Puntigrus tetrazona*). Perhatikan perbedaan warna dan jumlah kromosom pada embrio. Induk ikan jantan mempunyai 2 set kromosom yang berbeda sehingga larva yang dihasilkan berupa jantan super (memiliki kromosom YY) atau betina normal (memiliki kromosom XX).

8. Triploidi

Poliploidi tidak hanya terjadi di bidang tapi sudah lebih dulu berkembang di bidang agrikultur. Poliploidi meningkatkan produksi melalui peningkatan ukuran sel, ketahanan terhadap penyakit dan produksi buah tanpa biji. Salah satu metode poliploidi adalah triploidi, yaitu sel atau organisme yang memiliki 3 set kromosom. Triploidi merupakan salah satu cara untuk menghasilkan hewan yang steril. Hewan yang dihasilkan dengan metode triploidi mempunyai pertumbuhan alat kelamin yang terlambat atau tidak berkembang dengan sempurna.

Triploidi sangat mudah diterapkan pada avertebrata dan vertebrata tingkat rendah tetapi cenderung mustahil diterapkan pada vertebrata tingkat tinggi. Oleh karena itu, triploidi umumnya hanya terbatas pada bidang akuakultur dan tidak banyak dilakukan pada bidang peternakan. Ikan dan moluska melakukan pemijahan secara eksternal dengan melepaskan telur ke kolom air sehingga sel kelaminnya dapat diambil dan dimanipulasi untuk menghasilkan hewan triploidi.

Pada saat memijah, perkembangan sel telur ikan berhenti pada tahap meiosis I atau meiosis II. Perkembangan selanjutnya hanya akan terjadi apabila dibuahi oleh sel sperma. Apabila telur yang sudah dibuahi tersebut diberikan kejutan secara fisik atau kimia maka proses pembelahan sel berhenti dan pengeluaran badan polar terhambat. Walaupun demikian, kromosom tetap membelah sehingga sel memiliki satu kromosom ekstra (Gambar 6). Dua set kromosom didapat dari induk betina sementara satu set kromosom didapat dari induk jantan (Piferrer et al., 2009). Kesuksesan penghambatan pengeluaran badan polar merupakan kunci keberhasilan metode triploidi.



Gambar 15.6 Manipulasi kromosom pada ikan. Batang kecil dalam tiap sel melambangkan satu kromosom. Diadaptasi dari Piferrer et al. (2009)

Pada umumnya, hewan akuakultur sudah mengalami domestikasi sehingga mempunyai informasi genetik yang berbeda dengan ikan liar. Bila hewan hasil budidaya terlepas ke alam dan bereproduksi dengan hewan liar, ada kekhawatiran bahwa keturunan yang dihasilkan akan mempunyai keragaan yang lebih buruk daripada hewan liar. Pada kondisi terburuk, hewan budidaya akan menyebabkan gangguan pada populasi hewan liar. Selain itu, hewan budidaya yang dikembangkan di luar jangkauan wilayah alamnya akan dapat mengancam atau memangsa populasi hewan lokal atau menyebarkan bibit penyakit bila terlepas dari fasilitas budidaya.

Metode triploid biasanya dikembangkan dengan tujuan untuk mengekang kemampuan reproduksi hewan akuakultur atau mengekang informasi genetik suatu individu. Hewan hasil metode triploid umumnya steril atau tidak dapat menghasilkan keturunan. Pada spesies tertentu, hewan hasil metode triploid seperti abalon dan tiram mempunyai bobot atau ukuran yang lebih besar dibandingkan dengan abalon atau tiram normal (diploid). Hal ini disebabkan karena energi yang tersedia untuk perkembangan alat kelamin dialihkan menjadi perkembangan badan.

Hewan triploid mempunyai ukuran sel dan inti sel yang lebih besar, jumlah DNA yang lebih banyak dan kromosom ekstra dibandingkan hewan normal (diploid). Beberapa cara untuk mengetahui keberhasilan metode triploid adalah dengan menggunakan flow cytometry (untuk mengetahui

perbedaan jumlah DNA) atau dengan metode kariotipe (untuk mengetahui perbedaan jumlah kromosom).

9. Pembalikan jenis kelamin

Metode ginogenesis dan androgenesis dapat digunakan untuk mengetahui mekanisme penentuan jenis kelamin pada hewan tertentu. Hewan yang mempunyai sistem penentuan jenis kelamin XX/XY akan menghasilkan keturunan monoseks betina (XX) apabila diberi perlakuan ginogenesis (Tabel 1). Induk betina yang memiliki kromosom XX hanya akan menghasilkan keturunan yang memiliki kromosom yang sama karena tidak ada sumbangan materi genetik dari ikan jantan. Sebaliknya, hewan yang mempunyai sistem penentuan jenis kelamin ZW/ZZ akan menghasilkan keturunan monoseks jantan (ZZ) apabila diberi perlakuan androgenesis (Devlin dan Nagahama, 2002; Komen dan Thorgaard, 2007). Induk jantan yang memiliki kromosom ZZ hanya akan menghasilkan keturunan dengan kromosom yang sama. Walaupun demikian, pada prakteknya, jenis kelamin pada ikan juga dipengaruhi faktor lingkungan seperti suhu sehingga rasio jantan-betina dapat berubah.

10. Penyortiran sel sperma

Penyortiran sel sperma sudah berhasil dilakukan pada kelinci, sapi dan babi. Hewan jantan dewasa mempunyai dua tipe sel sperma, yaitu sperma yang memiliki kromosom X dan sperma yang memiliki kromosom Y. Penyortiran dilakukan untuk memisahkan sperma kromosom X dari sperma kromosom Y. Tujuan penyortiran adalah untuk mendapatkan sperma dengan kromosom X yang dapat membuahi sel telur (hanya mempunyai kromosom x) untuk menghasilkan keturunan berjenis kelamin betina (kromosom XX).

Sperma kromosom X mempunyai jumlah DNA lebih banyak (sekitar 2,8 – 4,2%) dibandingkan dengan kromosom Y (Gambar 1). Akibatnya, kromosom X dan kromosom Y dapat dibedakan berdasarkan jumlah DNANYa. Kedua kromosom kemudian diberi zat pewarna. Karena memiliki jumlah DNANYa lebih banyak, kromosom X menyerap zat pewarna lebih banyak. Seluruh sel sperma kemudian dilewatkan pada wadah flow cytometer dan diberi rangsangan (dieksitasi) dengan sinar laser. Sperma

yang memiliki DNA lebih banyak (sperma kromosom X) memancarkan cahaya lebih terang dibandingkan sperma kromosom Y. Sperma kemudian dilewatkan pada alat pendeteksi cahaya dan lempengan bermuatan. Semua sel sperma kemudian diberi muatan positif atau negative tergantung kandungan DNANYa. Komputer kemudian membagi dan mengarahkan masing-masing jenis sperma ke sisi berbeda. Sel sperma yang mati diarahkan pada sisi tengah. Pada akhirnya, didapat 3 kelompok sperma, yaitu sel sperma kromosom X, sel sperma kromosom Y dan sel sperma mati. Sayangnya, sistem ini mempunyai kelemahan dalam hal efektifitas pemisahan dan biaya instrumen yang digunakan (Yamar et al., 2015).

C. RANGKUMAN MATERI

Salah satu metode bioteknologi terhadap hewan adalah manipulasi kromosom. Manipulasi kromosom telah berhasil meningkatkan produktivitas di bidang agrikultur dan akuakultur. Metode yang paling sering digunakan adalah ginogenesis, androgenesis dan triploidi. Manipulasi kromosom merupakan salah satu metode bioteknologi yang sangat layak untuk diteliti, diterapkan dan dikembangkan bagi kehidupan manusia.

TUGAS DAN EVALUASI

1. Manipulasi kromosom sangat mudah dilakukan pada hewan akuatik. Jelaskan faktor penyebab kenapa hal tersebut dapat dilakukan!
2. Jelaskan tentang penentuan jenis kelamin berdasarkan kromosom seks!
3. Jelaskan tentang perbedaan ginogenesis meiotik dan ginogenesis mitotik!
4. Jelaskan tentang alasan dan mekanisme kejutan pada metode manipulasi kromosom!
5. Menurut anda, metode manipulasi kromosom apakah yang paling menguntungkan bagi pengusaha di bidang akuakultur?

DAFTAR PUSTAKA

- Devlin, R. H., Y. Nahagama. 2002. Sex determination and sex differentiation in ish: an overview of genetic, physiological, and environmental influences. *Aquaculture* 208 : 191-364.
- Komen, H., G.H. Thorgaard. 2007. Androgenesis, gynogenesis and the production of clones in fishes: A review. *Aquaculture* 269 : 150-173.
- Lahn B.T., Nathaniel M.P., Karin J. 2001. The human Y chromosome, In the light of evolution. *Nature Reviews Genetics* 2 : 207-216.
- Manan H., A. B. N. Hidayati, N. A. Lyana, A. Amin-Safwan, H. Ma, N.A. Kasan, M. Ikhwanuddin. 2020. A review of gynogenesis manipulation in aquatic animals. *Aquaculture and Fisheries*. In Press, Corrected Proof.
- Padhi, B. J., R. K. Mandal. 2000. *Applied fish genetics*. 190 pp. Fishing Chimes, India
- Piferrer, P. A. Beaumont, J. C. Falguiere, M. Flajshans, P. Haffray, L. Colombo. 2009. Polyploid fish and shellfish: production, biology and applications to aquaculture for performance improvement and genetic containment. *Aquaculture* 293 : 125-156.
- Snustad D.P. Simmons M.J. 2012. *Principles of genetics*. Sixth Edition. John Wiley & Sons, Inc, 767 pp, USA
- Slamat, R. K. Rina, P. Ansyari. 2017. Pemuliaan ikan papuyu *Anabas testudineus* dengan teknik hibridisasi filogenetik meristik dari tiga tipe ekosistem perairan rawa. *Intek Akuakultur* 1(2): 79-90.
- Sumner A.T. 2003 *Chromosomes: organization and function*. Blackwell Publishing, p 98, 287 pp, Oxford UK
- Wyatt P. 2003. Practical aspects of genetic testing in abulatory paediatrics and child health care. *Paediatrics & Child Health* 8(1): 20-23.
- Yamar A.Y., A. U. Khan, A. Jamil, M. Abubakar *Biotechnology and Animal Reproduction*. 2015. In: *The role of biotechnology in improvement of livestock*. Animal health and biotechnology. M. Abubakar, A. Saeed, O. Kul. Springer, p 6, 147 pp, London.

GLOSARIUM

A

AIDS : Disebabkan oleh virus yang disebut HIV atau infeksi

Agroindustri : industri di bidang pertanian

Agrokimia : bahan kimia untuk pertanian, misalnya insektisida

Antibiotik : zat kimia yang dihasilkan oleh berbagai mikroorganisme, bakteri tertentu

Antraks : penyakit menular pada ternak yang disebabkan oleh kuman *Bacillus anthracis*

Antesis : Suatu periode ketika mekarnya bunga dengan sempurna

Anaerob : kondisi tanpa oksigen.

Asam lemak tak jenuh : Jenis lemak yang molekulnya tersusun dari rangkaian atom-atom karbon yang memiliki satu ikatan ganda.

Asam lemak jenuh : Jenis lemak yang tidak memiliki ikatan rangkap

Aerob : jenis respirasi yang membutuhkan oksigen

Alergi : reaksi abnormal atau reaksi berlebihan sistem kekebalan tubuh terhadap suatu zat.

Aeroponik : teknik penumbuhan tanaman dengan pemberdayaan udara

Antibodi : Merupakan sistem kekebalan yang berfungsi dalam memproteksi tubuh dari bahaya virus, bakteri, dan zat-zat yang menyebabkan terjangkitnya penyakit infeksi.

antibodi monoklonal : Salah satu produk bioteknologi dengan cara menggabungkan sel limfosit B dari suatu organisme dengan sel kanker.

AIDS : acquired immunodeficiency syndrome

ADCC : antibody-dependent cell cytotoxicity

Androgenesis : bentuk reproduksi aseksual dimana embrio berkembang tanpa sumbangan atau kontribusi genetik dari inti sel telur sehingga keturunan yang dihasilkan hanya memiliki genotik dari induk jantan.

B

Bioteknologi : adalah penggunaan biokimia, mikrobiologi, dan rekayasa genetika secara terpadu untuk menghasilkan barang atau lainnya bagi kepentingan manusia.

Biofisika : ilmu yang berkaitan dengan penerapan prinsip (hukum) dan metode fisika dalam masalah biologi

Biokimia : senyawa kimia dan proses kimia yang terdapat dalam sel atau tubuh makhluk hidup

Bioleaching : suatu proses pelarutan/pelepasan logam atau pengambilan (ekstraksi) logam dari sedimen menjadi bentuk yang larut dengan menggunakan bantuan mikroorganisme

Bioplastik : plastik yang mudah terdegradasi baik melalui serangan mikroorganisme maupun oleh cuaca

Bioremediasi : pemanfaatan mikroorganisme untuk membersihkan senyawa pencemar dari lingkungan

Bioreaktor : Tempat berlangsungnya fermentasi

Budidaya: Usaha untuk memperbanyak sumber daya hayati

Breed : Sekumpulan ternak yang memiliki karakteristik tertentu yang sama sehingga dapat dibedakan dengan ternak lainnya, dimana karakteristik tersebut dapat diwariskan secara turun temurun

Blastocyt : embrio yang telah berkembang selama 5 - 7 hari setelah pembuahan dan telah dibagi menjadi 2 jenis sel berbeda (Inner Mass Cell & Tropectoderm dan Balstocele)

Blastocele : Bagian dari blastocyt berupa rongga sel berisi cairan

Bakteri gram negatif : bakteri yang mempunyai lapisan luar berupa lipid pada dinding sel dan berwarna merah setelah adanya pewarnaan gram.

Bakteri gram positif : bakteri yang mempunyai lapisan dinding yang terbuat secara kompleks dari gula-protein dan berwarna ungu saat pewarnaan gram.

Bakteri commercial product : bakteri yang dijual di pasaran.

Bakteri indigenous : bakteri pengurai yang dibuat melalui proses isolasi.

Bioagent : tersedianya mikroorganisme dalam proses biodgradasi.

Biodegradable : dapat diuraikan secara alami dengan waktu yang relatif singkat dan tidak mencemari lingkungan.

Biodisel : bahan bakar yang terdiri dari campuran mono-alkyl ester dari rantai panjang asam lemak. Dipakai sebagai alternatif bahan bakar diesel.

Bioleaching : proses pelarutan atau pelepasan logam dengan menggunakan bantuan mikroorganisme.

Bioremediasi ex-situ : teknik bioremediasi dengan membawa tanah yang tercemar ke tempat pengolahan.

Bioteknologi lingkungan : pemanfaatan jasad hidup untuk mengatasi permasalahan lingkungan baik pencemaran air, tanah, dan udara.

Biofuel : Bahan bakar dari biomassa (biasanya dibuat dari tumbuhan dan hewan).

Bioetanol : Alkohol yang berasal dari tumbuh-tumbuhan, seperti gandum, tebu, jagung, singkong, ubi, buah-buahan, hingga limbah sayuran.

Biosafety : Terciptanya keamanan sumber daya hayati

Bioinsektisida : pemanfaatan jenis organisme tertentu untuk memberantas hama jenis serangga

Brati : Jenis hewan hibrida hasil persilangan antara entok betina dengan itik jantan

Badan polar : sel haploid berukuran kecil yang terbentuk bersamaan dengan sel telur pada proses oogenesis tetapi tidak bisa dibuahi.

C

CDR : Complementarity determining region

CDC : complement dependent cytotoxicity

CD : Cluster differentiation

D

DNA Rekombinan : adalah perubahan susunan DNA diperoleh melalui teknik DNA rekombinan yang melibatkan bakteri atau virus sebagai perantara.

Dekomposisi : proses perubahan menjadi bentuk yang lebih sederhana

Diploid : sel atau individu yang mempunyai dua set kromosom homolog, satu set didapat dari induk betina (sel telur) dan satu set didapat dari induk jantan (sel sperma) dan diberi lambang $2n$.

Diploidi : kondisi diploid suatu sel atau individu

E

Eksotik : memiliki daya tarik khas

Etanol : satu turunan dari senyawa hidroksil atau gugus OH, dengan rumus kimia C_2H_5OH

Evolusi : perubahan (pertumbuhan, perkembangan) secara berangsur-angsur dan perlahan-lahan

Endospem/endosperma : hasil peleburan intisperma dengan inti kandung lembaga sekunder pada tumbuhan

Enzim : Biokatalisator organik yang dihasilkan organisme hidup di dalam protoplasma

Esterifikasi : Reaksi antara asam karboksilat dengan alkohol menghasilkan ester

Ester : Senyawa turunan alkana dengan gugus fungsi $-COOR$, dengan R adalah gugus alkil

Etika : adalah sistem prinsip-prinsip moral yang mempengaruhi bagaimana orang membuat keputusan dan menjalani hidup mereka.

EGFR : Epidermal growth factor receptor

ELISA : enzyme-linked immunosorbent assay

F

Fusi protoplasma : adalah penggabungan 2 sel dari jaringan yang sama (organisme berbeda) dalam suatu medan listrik.

Fitoremediasi : penggunaan tanaman untuk menghilangkan, memindahkan, menstabilkan maupun menghancurkan bahan pencemar.

Fungisida : pestisida yang digunakan untuk membunuh jamur penyebab penyakit.

Flash point : Temperatur dimana fraksi akan menguap dan menimbulkan api bila terkena percikan api dan kemudian mati dengan sendirinya dengan rentan waktu yang cepat

Fermentasi : Teknik pemanfaatan mikroorganisme dalam menghasilkan produk bioteknologi

Fertilisasi : Proses penyatuan sel gamet jantan dan betina

FDA : Food and Drug Administration

Fenotip : sifat atau karakteristik suatu organisme yang dapat dilihat atau diamati.

G

Genetik : sifat dari bagian kromosom yang menjadi lokasi sifat-sifat keturunan

Genera : Genus atau marga

Genotif : Sifat yang tidak tampak yang ditentukan oleh pasangan gen atau susunan gen dalam individu yang menentukan sifat yang tampak.

Genom : Materi genetik suatu organisme atau virus; komplemen lengkap gen-gen suatu organisme atau virus beserta sekuens-sekuens asam nukleat bukan pengkode

Gen : Satuan pewarisan sifat dalam DNA (atau RNA pada beberapa virus) yang terdiri atas sekuens spesifik nukleotida yang memprogram sekuens asam amino pada polipeptida

Gliserin : Cairan kental tidak berwarna dan tidak berbau. Cairan tersebut bercampur dengan air dan alkohol yang diperoleh dari lemak hewani atau nabati atau dari fermentasi glukosa

Genetik Modified (GM) : yaitu berupa bahan manipulasi langsung suatu gen didalam organisme menggunakan bioteknologi.

Genbank : adalah sistem informasi genetic yang menyediakan koleksi beranotasi dari semua sekuens nukleotida yang tersedia untuk umum dan terjemahan protein mereka.

Gen cry : Kemunculan gen asing

GPCRs : G protein-coupled receptors

GCGR : human glucagon receptor

Genotip : komposisi atau susunan genetik dari suatu organisme

Ginogenesis : bentuk reproduksi aseksual dimana perkembangan embrio terjadi tanpa kontribusi genetik dari induk jantan tapi membutuhkan sel sperma untuk memicu perkembangan embrio.

Gonokoristik : individu yang memiliki satu alat kelamin (gonad) pada satu jenis kelamin, baik jantan atau betina

H

Hipotesis : sesuatu yang dianggap benar untuk alasan atau pengutaraan pendapat (teori, proposisi, dan sebagainya) meskipun kebenarannya masih harus dibuktikan; anggapan dasar

Hibrida : Individu hasil atau produk persilangan dari proses hibridisasi

Hibridisasi : Teknik persilangan antara suatu spesies atau varietas yang berbeda genotip untuk memperoleh sifat-sifat unggul.

Hibridoma : suatu teknik dalam mempersatukan dua sel yang berasal dari jaringan yang berbeda pada spesies yang sama/berbeda sehingga dihasilkan sel tunggal yang hibrid

Hidroponik : teknik penumbuhan tanaman dengan menggunakan kultur air

Hifa : Filamen bercabang yang berbentuk seperti kumpulan benang pada mikroorganisme

HAMA : human anti-mouse antibodies

HMA : Human mAbs

HLA : human leukocyte antigen

HGPRT : hypoxanthine-guanine-phosphoribosyl transferase

HAT : hypoxanthine aminopterin thymidine

Haploid : sel atau individu yang mempunyai satu set kromosom dan diberi lambang .

Haploidi : kondisi haploid suatu sel atau individu.

Homozigot : individu yang mempunyai 2 salinan gen yang sama pada alel yang sama

I

In vitro : prosedur perlakuan yang diberikan dalam lingkungan terkendali di luar organisme hidup

Insulin : hormon yang dibentuk dalam pankreas yang mengendalikn kadar gula dalam darah

Inoculum/Stater : Bahan tambahn yang digunakan saar awal fermentasi

Inner Mass Cell : Bagian dari blastocyt yang akan berkembang menjadi janin

Insektisida : bahan kimia yang bersifat racun yang digunakan untuk membunuh serangga.

Informed consent : adalah proses yang harus ada sebelum penanganan medis. Sebab, pasien memiliki hak untuk mengetahui, menolak, dan menyetujui tindakan yang ditawarkan dokter.

Inseminasi buatan : teknik penggunaan sperma yang telah dicairkan dan telah diproses terlebih dahulu untuk disuntikkan ke dalam saluran kelamin ternak betina dengan menggunakan peralatan dan metode tertentu

Inseri : Proses penyisipan gen tertentu

Invensi : Jenis produk atau proses yang mengandung pemecahan/solusi teknis terhadap masalah yang terdapat pada teknologi yang telah ada sebelumnya.

IgA : immunoglobulins

IL-2 : Interlukin-2

J

Jaringan : pembudidayaan sel atau jaringan pada medium buatan di dalam tabung reaksi

K

Katalis : adalah suatu zat yang mempercepat laju reaksi kimia pada suhu tertentu, tetapi tidak mengalami perubahan dan pengurangan jumlah

Kultur jaringan : adalah perbanyakan vegetative menggunakan jaringan atau sel pada medium buatan berupa agar-agar yang diperkaya dengan hormon, vitamin, dan unsur hara.

Kebiri : Tindakan bedah dan atau menggunakan bahan kimia yang bertujuan untuk menghilangkan fungsi testis pada jantan atau fungsi ovarium pada betina.

Kloning : proses reproduksi aseksual yang biasa terjadi di alam dan dialami oleh bakteri, serangga atau tumbuhan.

Kapang : Jenis cendawan/jamur yang bersifat multiseluler, membentuk hifa, bereproduksi secara aseksual/seksual ataupun melalui spora.

kultur invitro : teknik pengembangbiakan secara vegetatif buatan dengan memperbanyak atau menumbuhkan jaringan di dalam material tembus pandang

Khamir: Jenis cendawan/jamur yang bersifat multiseluler, bereproduksi secara aseksual atau pembelahan mitosis, serta melakukan pembelahan sel asimetris yang disebut budding.

Kloning : teknik bioteknologi modern melalui metode transplantasi nukleus dalam menghasilkan spesies baru yang mirip dengan induk yang dikehendaki

Kriopreservasi : proses pengawetan organel, sel, jaringan atau bagian tubuh makhluk hidup dengan menyimpannya pada suhu yang sangat rendah (lebih rendah dari -90°C)

Kariotipe : Susunan kromosom suatu sel atau individu. Kromosom disusun berdasarkan urutan panjang dan posisi sentromer.

Kromosom : molekul berbentuk seperti untaian benang yang membawa semua informasi keturunan.

L

Limbah : buangan yang dihasilkan baik dari proses produksi maupun pemukiman.

Living things : Jenis-jenis agen hayati/biologis (organisme) yang digunakan dalam proses bioteknologi

M

Merestorasi : mengembalikan atau memulihkan kepada keadaan semula

Mikroba : organisme mikroskopik yang mampu beradaptasi dan hidup pada berbagai jenis lingkungan

Mikropropagasi : perbanyakkan tumbuhan yang dilakukan melalui teknik kultur in vitro

Multiplikasi : tindakan atau proses memperbanyak

Mutase : perubahan kimiawi dan fisis suatu gen yang menghasilkan perubahan nyata dari sifat semula

Meiosis : Pembelahan sel yang menghasilkan 4 sel anakan yang masing-masing sel memiliki setengah dari jumlah kromosom sel induk.

Metil Ester : Merupakan senyawa ester alkil yang berasal dari minyak nabati dengan alkohol yang dihasilkan melalui proses esterifikasi/transesterifikasi

Metabolit primer: Senyawa yang dihasilkan oleh mikroorganisme yang berperan secara langsung bagi kehidupan mikroorganisme itu sendiri

Metabolit sekunder: Senyawa yang dihasilkan oleh mikroorganisme yang tidak berperan secara langsung bagi kehidupan mikroorganisme itu sendiri

Mikoriza : yaitu penggunaan jenis-jenis jamur tertentu yang membantu tanaman dalam menyerap unsur-unsur hara yang dibutuhkan dalam proses pertumbuhan dan perkembangannya.

Mold: Lihat kapang

MAB(s) : monoclonal antibodies

MTERF2 : Mitochondrial transcription termination factor 2

mRNA : messenger RNA

Meiosis: proses pembelahan sel gamet dimana jumlah kromosom diploid ($2n : 2$ set) berkurang menjadi haploid ($n : 1$ set).

Mitosis : bentuk pembelahan sel yang menghasilkan dua sel turunan yang sama secara genetik dengan sel awal (sel yang membelah) atau produksi dua sel dari satu sel awal dimana kedua sel yang dihasilkan memiliki kromosom yang sama dengan kromosom sel awal.

N

O

Organel : bagian tertentu di dalam sel yang berfungsi sebagai organ

open pollination : Jenis persilangan bebas (penyerbukan alami) dengan bantuan serangga

Onkogenik : Sesuatu yang menyebabkan tumor

P

Palawija : tanaman selain padi

Protoplasma : zat hidup dalam sel pada tumbuhan dan hewan yang terdiri atas nukleus dan sitoplasma

Petal : Daun bunga

Polen: Serbuk sari merupakan mikrospora atau butir gametofit jantan tumbuhan berbiji di dalam kepala sari

Populasi : Kumpulan individu yang sejenis yang hidup pada suatu daerah dan waktu tertentu

Pistil : Bagian alat perkembangbiakan bunga atau fertil yakni alat kelamin betina dan terdapat bakal bunga dan bakal biji pada putik.

Pestisida : zat kimia maupun jasad renik yang digunakan untuk mencegah hama penyakit.

Plasma nutfah : substansi pembawa sifat keturunan dari tumbuhan atau hewan serta jasad renik.

Plasmid : Materi genetik ekstrakromosomal yang tidak penting untuk pertumbuhan, cincin kecil DNA yang bisa bereplikasi sendiri

Pencemaran lingkungan : masuknya makhluk hidup, zat, energi atau komponen lain ke lingkungan yang mengganggu keseimbangan lingkungan.

Polihidroksibutirat (PHB) : biopolimer yang digunakan untuk pengganti bahan plastik konvensional.

Polihidroksialkanoat (PHA) : golongan poliester yang diakumulasi oleh bakteri yang dapat digunakan sebagai pengganti bahan plastik konvensional.

Placebos : adalah sebuah pengobatan yang tidak berdampak atau penanganan palsu yang bertujuan untuk mengontrol efek dari pengharapan.

Personhood : adalah karakter atau kepribadian dari jenis embrio yang memiliki sifat, sikap, dan karakter yang dapat membedakan baik dan buruk setelah berkembang menjadi manusia.

Paten: Hak Atas Kekayaan Intelektual (HAKI) yang diberikan kepada ilmuwan atau penemu lainnya yang menghasilkan suatu produk dalam jangka waktu tertentu

Patogen: agen biologis yang menyebabkan penyakit pada inangnya

Poliploid: jenis produk bioteknologi yang mengandung hormon pertumbuhan tinggi yang dapat mengubah sifat diploidi menjadi poliploidi, sehingga dihasilkan produk yang banyak dan memiliki ukuran sangat besar

plasma nutfah: jenis keragaman sumber daya genetik (fenotipik dan genotipik) dalam masing-masing tanaman

PAR4 : Protease Activated Receptor 4

PEG : polyethylene glycol

Poliploid : sel atau individu yang mempunyai satu atau beberapa set kromosom ekstra (tambahan). Setiap sel atau individu diberi nama sesuai jumlah set kromosom yang dimilikinya. Misalnya : triploid (memiliki 3 (tri) set kromosom, $3n$); tetraploid (memiliki 4 (tetra) set kromosom, $4n$); pentaploid (memiliki 5 (penta) set kromosom, $5n$), dan seterusnya.

Poliploidi : kondisi poliploid suatu sel atau individu.

R

Rekayasa Genetik : juga disebut modifikasi genetika, adalah manipulasi langsung gen suatu organisme menggunakan bioteknologi

Resisten : Sikap bertahan, melawan, kebal

Revolusi : adalah perubahan sosial dan kebudayaan yang berlangsung secara cepat dan menyangkut dasar atau pokok-pokok kehidupan masyarakat

Rekayasa : ilmu dalam cabang biologi yang berhubungan dengan prinsip keturunan dan variasi pada binatang dan tumbuhan jenis yang sama

Rodentisida : bahan kimia yang digunakan untuk mengendalikan tikus yang bersifat racun.

Risidu: sisa-sisa hasil penggunaan produk tertentu

Risiko : suatu kemungkinan yang akan terjadi akibat adanya kegiatan atau aktivitas tertentu

S

Sel : bagian atau bentuk terkecil dari organisme

Senyawa : bersangkutan paut dengan zat yang berasal dari makhluk hidup

Sepal: helai kelopak bunga

Spesies: Jenis yaitu sekelompok individu makhluk hidup yang serupa

Stamen : benang sari sebagai organ reproduksi jantan ada bunga.

SCID (Severe Combined Immunodeficiency Disease) : adalah gangguan kesehatan langka yang menyerang sistem kekebalan tubuh.

Starter : Jenis mikroorganisme yang digunakan selama proses fermentasi

scFV : single chain Fragment Variable

sIgA : Secretory antibodies

Sel kelamin (gonosom) : kromosom seks, yaitu sepasang kromosom yang berfungsi dalam penentuan jenis kelamin pada manusia dan sebagian besar hewan.

Sel tubuh (autosom) : Semua kromosom selain kromosom seks

T

Transformasi : Transfer informasi genetik melalui DNA bebas

Totipotensi : kemampuan setiap sel, dimana setiap bagian sel yang dikulturkan, apabila diletakkan dilingkungan yang sesuai akan tumbuh menjadi individu yang identik dengan induknya

Tropectoderm : Bagian dari blastocyt yang akan berkembang menjadi plasenta

Transesterifikasi : Reaksi antara ester dengan alkohol yang menghasilkan ester dan alkohol baru.

Tetua : Induk persilangan pada proses hibridisasi

Tongki : Lihat brati

Transgenik : produk bioteknologi modern berupa tanaman/hewan dari hasil rekayasa genetika yang menghasilkan produk dengan tingkat produktivitas dan kualitas yang tinggi dan resisten terhadap hama, penyakit atau herbisida yang diproduksi oleh tanaman itu sendiri

Transfer embrio : teknik transfer sperma dari ternak jantan atau sel telur dari ternak betina yang dimasukkan ke dalam sapi resepien atau dibekukan untuk sementara waktu yang akan ditransfer pada lain kesempatan

TNF : tumor necrosis factor

U

V

Vaksin : bibit penyakit (misalnya cacar) yang sudah dilemahkan

Varietas : kelompok tanaman (seperti perdu) dalam jenis atau spesies tertentu yang dapat dibedakan dari kelompok lain berdasarkan suatu sifat atau sifat tertentu

Vegetatif : perkembangbiakan tumbuhan secara tak kawin

Vigor hibrida : Hasil persilangan antara tetua

W

X

Y

Yeast : Lihat khamir

Yogurt : Jenis minuman susu fermentasi yang menggunakan inokulum dari bakteri probiotik organisme sehingga menghasilkan individu yang khas atau sifat-sifat unggul yang tidak mudah diperoleh melalui teknik pemuliaan konvensional.

Z

PROFIL PENULIS

Satya Darmayani, S.Si.,M.Eng



Penulis Lulus S1 di Program Studi Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Haluoleo tahun 2010. Lulus S2 di Program Magister Pengendalian Pencemaran Lingkungan (MTPPL) Universitas Gadjah Mada tahun 2013. Saat ini adalah dosen tetap Jurusan Teknologi Laboratorium Medis Politeknik Kesehatan Kementerian Kesehatan Kendari.

Mengampu mata kuliah Biokimia, Pengantar Laboratorium Medik, Kimia Analitik, Kimia Analisis Air Makanan dan Minuman dan mata kuliah Toksikologi. Aktif menulis artikel di berbagai jurnal ilmiah maupun rubrik koran, serta sebagai presenter di beberapa konferensi Nasional maupun Internasional.

Dr. Rudy Hidana, M.Pd.



Penulis dilahirkan di kota Madiun Jawa Timur pada tanggal 30 Maret 1965. Menyelesaikan S1 di Program Studi Pendidikan Biologi FKIP Universitas Siliwangi, lulus tahun 1990. Selanjutnya menyelesaikan S2 pada Program Pascasarjana Universitas Siliwangi, Program Studi Pendidikan Kependudukan dan Lingkungan Hidup pada tahun 2001. Kemudian menyelesaikan S3 pada

Program Studi Pendidikan IPA di Sekolah Pascasarjana Universitas Pendidikan Indonesia pada tahun 2015. Bekerja sebagai dosen tetap pada Program Studi Teknologi Laboratorium Medik, STIKes Bakti Tunas Husada Tasikmalaya sejak tahun 2000 sampai sekarang. Mengampu mata kuliah Biologi Sel dan Molekuler, Mikrobiologi, Parasitologi, Manajemen Laboratorium, Etika Profesi dan Hukum Kesehatan. Sebelumnya pernah bekerja sebagai analis kesehatan di Laboratorium Klinik RSB "Pamela", Laboratorium Klinik "Medika", Laboratorium Klinik "Budi Kartini", dan Laboratorium Klinik RS "Jasa Kartini" di Tasikmalaya pada tahun 1985 sampai dengan tahun 2000. Selain melaksanakan tugas mengajar saat ini juga sebagai Ketua Lembaga Sertifikasi Profesi STIKes Bakti Tunas Husada Tasikmalaya. Pernah menjabat sebagai Ketua Pusat Penelitian dan Pengabdian Masyarakat STIKes Bakti Tunas Husada Tasikmalaya tahun 2004

sampai dengan 2008. Aktif di organisasi profesi PATELKI (Persatuan Ahli Teknologi Laboratorium Medik Indonesia), dan AIPTLMI (Asosiasi Institusi Pendidikan Teknologi Laboratorium Medik Indonesia). Saat ini masih tercatat sebagai reviewer penelitian dosen LLDIKTI wilayah 4 Jawa Barat dan Banten. Melakukan berbagai kegiatan penelitian yang berkaitan dengan Analis Kesehatan dan juga pendidikan IPA. Pernah mendapatkan hibah penelitian dosen muda dari Kopertis wilayah IV pada tahun 2008, hibah penelitian doktor dari Dirjen Dikti pada tahun 2010.

Aminatus Sa'diyah, S.Si., M.T.



Penulis menyelesaikan pendidikan magister di Jurusan Teknik Fisika Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya pada tahun 2014, dan sarjana di Jurusan Fisika Universitas Airlangga pada tahun 2012. Saat ini aktif aktif mengajar sebagai dosen di Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya sejak 2015. Merupakan alumni awardee LPDP tahun 2013 dengan tema penelitian Produktivitas Mikroba sebagai agen penghasil Energi Terbarukan, juga pernah melaksanakan joint research program dengan Carl von Ossietzky Universität Oldenburg-Germany mengenai Analisis Dampak Penerapan Bioteknologi pada ekologi dan lingkungan, didukung oleh DevSus-DAAD. Bidang penelitian yang ditekuni adalah Bioteknologi terapan untuk industri dan rumah tangga, Produktivitas Mikroba dengan Model Matematis, Teknologi Energi Terbarukan, serta Manajemen Energi berikut dampaknya bagi ekologi dan lingkungan. Saat ini aktif menulis artikel ilmiah baik jurnal nasional maupun internasional, serta aktif mengikuti organisasi ilmiah salah satunya adalah sebagai pengurus Divisi Akademik dan Publikasi Ilmiah (API) Mata Garuda-LPDP Jatim.

Pramita Laksitarahmi Isrianto, S.Si., M.Si



Penulis kelahiran Surabaya, 21 Januari 1987 merupakan dosen tetap Program Studi Pendidikan Biologi, Fakultas Bahasa dan Sains, Universitas Wijaya Kusuma Surabaya sejak tahun 2014. Memperoleh gelar sarjana (S.Si.) tahun 2009 .Pada tahun 2010 melanjutkan studi ke Pascasarjana Universitas Airlangga Surabaya, Fakultas Sains dan Teknologi, Jurusan Biologi dengan gelar Magister (M.Si.) pada tahun 2011. Aktif mempublikasikan hasil penelitian melalui jurnal ilmiah maupun pertemuan ilmiah. Adapun karya ilmiah yang telah dipublikasikan terkait tentang bioteknologi adalah biofermentasi Kefir Teh Pecut Kuda (*Stachypheta jamaicensis*) Sebagai Sumber Belajar Biologi dan Kefir of Keji Beling Tea (*Strobilanthes crispus*) AS Fuctional Beverage For Glucose Intolerance. Penulis memberikan kegiatan pengabdian masyarakat pelatihan tentang pembuatan Yoghurt dan pelatihan hidroponik. Hobi penulis adalah traveling dan baking.

Dr. Hidayati, S.Pt., M.P.



Penulis dilahirkan di Pekanbaru 4 September 1975. Menempuh Pendidikan S1 Tahun 1994 s/d 1998 di Jurusan Produksi Ternak Fakultas Peternakan Universitas Andalas Padang. Tahun 2001 tamat Pascasarjana Universitas Andalas Program Studi Ilmu Ternak melalui dana Beasiswa Pemerintahan Provinsi Riau. Tahun 2003 bergabung menjadi Dosen Kontrak di Fakultas Peternakan UIN Sultan Syarif Kasim Riau dan tahun 2005 diangkat menjadi Dosen PNS dengan bidang keahlian Pemuliaan dan Genetika Ternak. Tahun 2010-2015 melanjutkan Strata 3 di Program Studi Ilmu Produksi dan Teknologi Peternakan di Institut Pertanian Bogor melalui beasiswa BPPS dan beasiswa dari Kementerian Agama RI. Selama bekerja di Fakultas Pertanian dan Peternakan UIN Sultan Syarif Kasim Riau pernah menjadi Sekretaris Program Studi Peternakan (2006 s/d 2009), Kepala Laboratorium Produksi Ternak (2009 s/d 2010), Kepala Laboratorium Genetika dan Pemuliaan (2018 s/d 2019) dan Kepala Laboratorium Reproduksi dan Pemuliaan (2019 s/d sekarang).

Dewi Jumiarni, S.Si., M.Si



Penulis lahir di Kota Lubuk Linggau (Sumatera Selatan) tahun 1981. Penulis adalah dosen tetap di Program Studi Pendidikan Biologi FKIP Universitas Bengkulu, mengampu mata kuliah Mikrobiologi, Bioteknologi dan Biokimia. Penulis menempuh studi sarjana di Jurusan Biologi FMIPA Universitas Sriwijaya (2004) dan studi magister di Program Studi Bioteknologi SITH Institut Teknologi Bandung (2006). Penulis aktif melakukan penelitian dan pengabdian pada masyarakat terutama di bidang bioteknologi. Buku yang telah dihasilkan Penulis antara lain *Mikroalga di Sungai Bengkulu* dan *Biostatistika*. Penulis dapat dihubungi di email : dewij@unib.ac.id.

Anggita Rahmi Hafsari, S.Pd., M.Si



Penulis merupakan dosen tetap di Jurusan Biologi, Universitas Islam Negeri Sunan Gunung Djati Bandung. Penulis dilahirkan di Kabupaten Bandung Barat, Jawa Barat tepatnya di Padalarang pada 25 September 1984. Penulis merupakan lulusan Sarjana Pendidikan Biologi Universitas Pendidikan Indonesia pada tahun 2007 dan di tahun yang sama penulis mendapatkan beasiswa Megister dari Kementerian Agama untuk melanjutkan studi di Jurusan Biologi, Universitas Indonesia dan lulus pada tahun 2009. Riset yang dilakukan saat menempuh program magister adalah mengenai Pengujian Kemampuan Antagonistik Khamir *Rhodotorula* Spp. Asal Kebun Raya Cibodas Dan Potensi *Rhodotorula* Sp. UICC Y-381 Sebagai Agen Biokontrol *Aspergillus Ochraceus* pada Tomat Pasca panen. Sejak tahun 2011 hingga mempublikasikan hasil penelitian di berbagai jurnal terindeks skala Nasional dan Internasional. Fokus penelitian penulis adalah di Isolasi dan Identifikasi Mikroba, Gelatin Halal dan Bioprospecting Mikroba. Pada Tahun 2016 penulis mendapatkan beasiswa dari Kementerian Agama untuk mengikuti Short Course Academic Writing selama 6 Bulan di IALF Bali. Saat ini penulis merupakan dosen pengampu mata kuliah Mikrobiologi dan

Bioteknologi dan diamanahi sebagai Sekretaris UPT Pusat Karier UIN Sunan Gunung Djati Bandung.

Dr. Ir. Fransina.S.Latumahina,S.Hut.MP.IPP



Penulis dilahirkan di Kota Ambon, 30 November 1980. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Kehutanan, Fakultas Pertanian, Universitas Pattimura Ambon. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Kehutanan Fakultas Pertanian Universitas Pattimura Ambon dan melanjutkan S2 serta s3 nya pada Fakultas Kehutanan Universitas Gadjah Mada (UGM) Yogyakarta. Penulis menekuni bidang ilmu perlindungan dan kesehatan hutan. Beberapa mata kuliah yang diampunya di kampus yakni Perlindungan Hutan, Pengaruh Hutan, Ilmu Hama dan Penyakit Hutan, Genetika hutan. Mata kuliah Perhutanan sosial dan ekologi dan konservasi pulau – pulau kecil diampunya pada program Pascasarjana Manajemen Hutan Unpatti. Penulis semasa studi s3 pernah mengikuti program Sandwich pada University Of Western Australia. Beberapa karya penulis yang dipublikasikan di antaranya Buku Respon semut terhadap kerusakan ekosistem hutan, kajian Perhutanan sosial di Maluku dan Papua, Penyebaran burung pada Pulau – Pulau Kecil di Maluku, Kajian Lingkungan Hidup Strategis Kabupaten Seram Bagian Barat. Selain menulis buku, penulis juga telah menghasilkan publikasi pada jurnal internasional bereputasi dan nasional terakreditasi antara lain [*An ant genus-group \(Prenolepis\) illuminates the biogeography and drivers of insect diversification in the Indo-Pacific*](#), [*Implementation of Forest Management Units Policies within Indigenous Agroforestry Systems of Buru Island, Moluccas*](#), [*INSECTS IN TEAK \(Tectona grandis LF\) IN THE FOREST AREA OF PASSO VILLAGE CITY OF AMBON MALUKU*](#), [*Patterns and Mechanisms of Ant Diversity in Two Types of Land Use within Protected Forest Area Sirimau City of Ambon Maluku Province*](#), [*Ants of Ambon Island–diversity survey and checklist*](#). Penulis juga aktif dalam berorganisasi baik secara internal di kampus maupun di luar kampus. Saat ini penulis dipercayakan sebagai Ketua Pengurus Daerah Relawan Jurnal Indonesia Provinsi Maluku,

Sekretaris Dosen Forum Dosen Indonesia Maluku, Wakil Ketua DPD KNPI Provinsi Maluku bidang Kehutanan dan Lingkungan Hidup, Wakil ketua DPD GAMKI Maluku, Ketua Libtang Perhimpunan Entomologi Indonesia Cabang Ambon, dan dilingkungan kampus menjabat sebagai Ketua Pusat Studi Publikasi Universitas Pattimura Ambon. Penulis dapat dihubungi melalui email : fransina.latumahina@yahoo.com atau nomor telepon 081215525751

Dr. Eni Setyowati, S.P., S.Pd., MM.



Penulis lahir di Tulungagung, 6 Mei 1976 dari seorang ayah bernama Hardjito dan Ibu Sri Hartati. Penulis adalah dosen di IAIN Tulungagung. Riwayat pendidikan penulis adalah pernah mengenyam pendidikan sekolah dasar di SDN 2 Sidorejo, Pendidikan menengah di SMPN I Kauman dan SMAN I Tulungagung. Sarjana (S1) di Universitas Brawijaya Malang dan STKIP PGRI Tulungagung, Magister (S2) di Universitas Brawijaya Malang, serta menempuh pendidikan doktor (S3) di Universitas Negeri Malang. Beberapa buku solo dan buku antologi telah penulis hasilkan. Selain sebagai dosen, saat ini penulis juga sebagai ketua jurusan Tadris Biologi IAIN Tulungagung, serta aktif bergabung dalam KOB I, PBI, ADBPBPTKI serta komunitas penulis Sahabat Pena Kita. Penulis dikaruniai dua orang putra Dimas Aryasena Praditya dan Yafiz Raihan Anditya. Berkat dukungan suami (Wahyudiana) alhamdulillah penulis selalu aktif dalam kegiatan akademik, non-akademik maupun literasi. Penulis dapat dihubungi melalui email: enistain76@yahoo.com, dan nomor HP. 081335767441.

Solikhah Ana Estikomah., S.Si.,M.Si



Penulis di lahirkan di Karanganyar 23 April 1985 dari anak ke 2 dari tiga bersaudara dari pasangan Rahmad dan Sri Sukini. Saat ini Penulis bertempat tinggal di Semenharjo rt 02 rw 05, Suruhkalang, kecamatan Jaten Kabupaten Karanganyar. Riwayat pendidikan penulis pernah mengenyam pendidikan di SDN 1 Suruhkalang, Pendidikan Menengah di SMPN 1 Karanganyar dan SMAN

1 Karangpandan. Pendidikan Sarjana ditempuh di MIPA Biologi UNS 2004 lulus 2008, melanjutkan pasca sarjana program magister di Biosains UNS 2008, dan melanjutkan pasca sarjana program Doktor Ilmu lingkungan di UNS 2019. Saat ini bertugas sebagai dosen di Prodi Farmasi fakultas Ilmu Kesehatan Universitas Darussalam Gontor. Penulis Bisa dihubungi via wa 087835000024, email Ana@unida.gontor.ac.id.

Dr. Sri Kurniati A., ST, MT



Penulis menyelesaikan pendidikan sarjana pada jurusan Teknik Elektro Universitas Muslim Indonesia Makassar Tahun 1997. Pada tahun yang sama diterima menjadi staf Pengajar tetap pada Jurusan Teknik Elektro Universitas Nusa Cendana Kupang sampai sekarang. Pada Bulan Agustus 2003 mendapat kesempatan melanjutkan studi pada Program Pascasarjana Program Studi Teknik Elektro Universitas Hasanuddin, lulus pada Bulan Maret 2006, dengan spesifikasi penelitian di bidang Elektronika Daya. Dalam penelitian ini, penulis menggunakan program PSPICE sebagai software utama penelitian yang berjudul” Analisis dan Simulasi Penyearah Tiga Fasa Terkendali Dengan Menggunakan Kombinasi Filter Pasif dan Aktif (Hybrid)”. Tahun 2015 melanjutkan studi S3 pada Program Doktor Pascasarjana Ilmu Lingkungan (Interdisipliner) dan lulus pada tahun 2019.

Dr. Sudirman Syam, ST, MT



Penulis menyelesaikan pendidikan sarjana pada jurusan Teknik Elektro Universitas Muslim Indonesia Makassar Tahun 1995. Pada tahun 1998 menjadi staf Pengajar tetap pada Jurusan Teknik Elektro Universitas Nusa Cendana Kupang sampai sekarang. Pada Bulan Agustus 2003 mendapat kesempatan melanjutkan studi pada Program Pascasarjana Program Studi Teknik Elektro Universitas Hasanuddin, lulus pada Bulan Maret 2006, dengan spesifikasi penelitian di bidang Elektronika Daya. Dalam penelitian ini, penulis menggunakan program PSPICE sebagai software utama penelitian yang berjudul” Analisis Kinerja Motor Arus Searah (DC) Dengan Menggunakan

Sistem Kendali Modulasi Lebar Pulsa (PWM)”. Tahun 2013 melanjutkan studi S3 pada Program Doktor Teknik Mesin bidang Konversi Energi dan lulus pada tahun 2019.

Moh. Imam Sufiyanto, S.Si., S.Pd., M.Pd.



Penulis dilahirkan di kota Pamekasan, Jawa Timur Pada tanggal 30 Januari 1987, anak kedua dari tiga bersaudara, Berangkat dari bangku sekolah, ia meneruskan kuliah pada prodi Biologi, dan Pendidikan Biologi di Universitas Negeri Malang (UM) pada tahun 2005. Setelah lulus Strata Satu (S1), ia melanjutkan ke Strata Dua (S2) di kampus dan jurusan yang sama pada tahun 2012. Ia menjadi Dosen Tetap Sekolah Tinggi Agama Islam Negeri (STAIN Pamekasan) di kota Pamekasan pada Prodi S1 Pendidikan Guru Madrasah Ibtidaiyah (PGMI), yang pada pertengahan tahun 2017 ini berubah menjadi Institut Agama Islam Negeri (IAIN Madura) Pamekasan. Penulis bisa dihubungi melalui via email bersamabiologi@gmail.com, biologiyayan@gmail.com. WA 0852-3267-8786. Alamat domisili penulis: Jl Pintu Gerbang Gang VII RT 001/RW 007 No. 124 Pamekasan, Kelurahan Bugih Kecamatan Pamekasan Kota Pamekasan Jawa Timur.

Dr. Muh. Sri Yusal, S.Si., M.Si.



Penulis lahir dan dibesarkan dengan penuh kebahagiaan di Kacampureng. Pendidikan Dasar formal ditempuh di Kabupaten Bone, kemudian melanjutkan pendidikan menengah di Makassar. Program Doktorat ditempuh di Sekolah Pascasarjana Universitas Gadjah Mada Program Studi Ilmu Lingkungan dan lulus tahun 2019. Penulis diterima sebagai tenaga pengajar (dosen) di Pendidikan Biologi P. MIPA STKIP Pembangunan Indonesia Makassar sejak tahun 2004 sampai sekarang, saat ini aktif menjadi reviewer pada jurnal Biodiversitas Celebes. Karya ilmiah yang dihasilkan berupa beberapa buku dan publikasi

jurnal internasional maupun jurnal nasional bereputasi pada tahun 2019-2021.

Dr.med. Theopilus Wilhelmus Watuguly, M.Kes, AIF



Penulis adalah Staf pengajar pada Program Studi Biologi, Jurusan MIPA, Universitas Pattimura Ambon. Lulus Sarjana Biologi pada tahun 2000 dari Jurusan MIPA - Universitas Pattimura Ambon. Pendidikan Magister - S2 lulus tahun 2003, Program Studi Ilmu Kedokteran Dasar, Konsentrasi Biologi Kedokteran (Biomedik) Universitas Airlangga Surabaya. Pendidikan Doktor - S3 lulus tahun 2012, Program Studi Ilmu Kedokteran, Konsentrasi Kedokteran Dasar (Biomedik) Universitas Diponegoro Semarang dengan bidang riset biologi molekuler. Ketertarikan penulis dalam mendalami penelitian kanker dimulai saat mengikuti studi pada Program Doktor Ilmu Kedokteran. Pada tahun 2008 – 2009, penulis mendapat kesempatan untuk melakukan treatment in-vitro test di Laboratorium University of Massachusetts – Amherst (UMass-Amherst) – USA dalam rangka penelitian disertasi. Beberapa hasil penelitian kanker yang telah dipublikasi baik di International Journal maupun di Jurnal Nasional yang dibiayai oleh Hibah Penelitian Doktor, Hibah Program Pascasarjana dan Sandwich Like Program oleh Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi, antara lain: “Induksi Polifenol Mahkota Dewa dan Apoptosis Sel Kanker Paru Mencit Strain Balb/C: Analisis pada Up-Regulation Bax dan Down-Regulation Bcl-2. Med. Med. Indo. 2012; 46(1): 33-43”; “Pengaruh Polifenol Mahkota Dewa Terhadap Proliferasi Sel dan Apoptosis pada Mencit Strain Balb/C yang Diinduksi Benzo (a) Pyrene (BaP). Med. Med. Indo. 2013; 47(1): 44-55; “Polyphenol Compounds of Mahkota Dewa (Phaleria macrocarpa [Scheff.] Boerl) Up-regulated Caspase-3 and Apoptosis Index in Balb/c Strain Mice. Functional Food in Health and Disease 2016; 6(4): 206-218”. “Biomolecular Aspect of Apoptosis Pathway: Caspase-8 and Caspase-9 on Polifenol Exposure of Phaleria macrocarpa (Scheff.) Boerl on Mice Balb/c. Universal Journal of Public Health 2018; 6; 173-180”. “Potential of Binahong (Anredera cordifolia [Tenore] Steen) in Reducing TNF- α Expression on Regeneration of Pancreas β Cells on White Rats (*Rattus norvegicus*)

Diabetes Mellitus. *Journal of Biosciences and Medicines* 2020: 8 (6); 37-49".
"The Correlation between the Intrinsic and Extrinsic Molecular Markers in the Inhibition of the Lungs Carcinogenesis Growth by Mahkota Dewa Polyphenols on Balb/c Mouse. *Open Journal of Applied Sciences* 2020: 10 (06); 271-278". Kegiatan penulis saat ini selain melakukan penelitian yang berhubungan dengan kanker dan penyakit degeneratif lainnya, penulis juga mengajar beberapa mata kuliah antara lain Biologi Sel, Biologi Molekuler, Biokimia, Biomedik, Bioteknologi dan Bioinformatika Pada Program Studi Pendidikan Biologi, Program Studi Pendidikan Dokter FK Universitas Pattimura, Konsentrasi Epidemiologi Program Studi Kesehatan Masyarakat Universitas Kristen Indonesia Maluku dan Jurusan Keperawatan dan Kebidanan Pada STIKES Kemenkes Ambon dan STIKES PASAPUA Ambon Provinsi Maluku.

Victor David Nico Gultom, S.Kel, M.Sc., Ph.D



Penulis adalah dosen tetap di Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Satya Negara Indonesia sejak tahun 2019. Penulis mengajar mata kuliah Biologi Perikanan dan Bioteknologi Akuakultur. Penulis merupakan lulusan (S1) Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro, (S2,S3) Department of Fisheries Biology, Pukyong National University, Korea

Selatan. Saat menempuh pendidikan S2, penulis menjadi mahasiswa peneliti di Laboratorium Teknik Akuakultur dan melakukan penelitian tentang sistem resirkulasi akuakultur. Saat menempuh pendidikan S3, penulis menjadi peneliti di Laboratorium Sumber daya Genetik dan melakukan penelitian di bidang pemuliaan genetika perikanan, transgenesis dan biologi molekuler. Penulis bekerja dalam tim yang menghasilkan berbagai strain ikan hasil rekayasa genetik seperti ikan transgenik, ikan hibrid dan ikan hasil pembalikan seks. Setelah menyelesaikan studi S3, penulis bekerja sebagai peneliti di perusahaan-perusahaan yang bergerak di bidang bioteknologi dan akuakultur di Korea Selatan.

Bioteknologi

Teori dan Aplikasi

Bioteknologi merupakan cabang ilmu biologi yang mempelajari pemanfaatan makhluk hidup (bakteri, fungi, virus, dan lain-lain) maupun produk dari makhluk hidup (enzim, alkohol, antibiotik, asam organik) dalam proses produksi untuk menghasilkan barang dan jasa yang dapat digunakan oleh manusia. Dewasa ini, perkembangan bioteknologi tidak hanya didasari pada biologi semata, tetapi juga pada ilmu-ilmu terapan dan murni lainnya, seperti biokimia, komputer, biologi molekular, mikrobiologi, genetika, kimia, matematika, dan lain sebagainya. Dengan kata lain, bioteknologi adalah ilmu terapan yang menggabungkan berbagai cabang ilmu dalam proses produksi barang dan jasa. Bioteknologi secara sederhana sudah dikenal oleh manusia sejak ribuan tahun yang lalu.

Buku ini diawali dengan penyajian bahasan mengenai pengertian dan ruang lingkup serta prinsip dasar dan perkembangan bioteknologi yang dilanjutkan dengan bioteknologi konvensional, hibridisasi dan fermentasi serta bioteknologi modern (kloning dan rekayasa genetika pada hewan ternak) kemudian rekayasa genetika pada tumbuhan, bioteknologi di bidang makanan dan minuman serta bioteknologi untuk peningkatan produktivitas hutan dan bioteknologi dalam bidang lingkungan lebih mendalam membahas bioteknologi dalam bidang kesehatan dan ilmu forensik serta bioteknologi dalam bidang sumber daya energi dan etika, risiko bioteknologi.