

BIOENTREPRENEURSHIP

Transformasi Ilmu Biologi Menjadi
Inovasi Ekonomi Berkelanjutan



Mazlila - Rahmi Nazlia - Ika Chastanti

BIOENTERPRENEURSHIP
TRANSFORMASI ILMU BIOLOGI
MENJADI INOVASI EKONOMI
BERKELANJUTAN

UU No 28 tahun 2014 tentang Hak Cipta

Fungsi dan sifat hak cipta Pasal 4

Hak Cipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 3 huruf a merupakan hak eksklusif yang terdiri atas hak moral dan hak ekonomi.

Pembatasan Pelindungan Pasal 26

Ketentuan sebagaimana dimaksud dalam Pasal 23, Pasal 24, dan Pasal 25 tidak berlaku terhadap:

- penggunaan kutipan singkat Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait untuk pelaporan peristiwa aktual yang ditujukan hanya untuk keperluan penyediaan informasi aktual;
- Penggandaan Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait hanya untuk kepentingan penelitian ilmu pengetahuan;
- Penggandaan Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait hanya untuk keperluan pengajaran, kecuali pertunjukan dan Fonogram yang telah dilakukan Pengumuman sebagai bahan ajar; dan
- penggunaan untuk kepentingan pendidikan dan pengembangan ilmu pengetahuan yang memungkinkan suatu Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait dapat digunakan tanpa izin Pelaku Pertunjukan, Produser Fonogram, atau Lembaga Penyiaran.

Sanksi Pelanggaran Pasal 113

Setiap Orang yang dengan tanpa hak melakukan pelanggaran hak ekonomi sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf i untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 1 (satu) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp100.000.000 (seratus juta rupiah).

Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf c, huruf d, huruf f, dan/atau huruf h untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 3 (tiga) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).

BIOENTERPRENEURSHIP TRANSFORMASI ILMU BIOLOGI MENJADI INOVASI EKONOMI BERKELANJUTAN

Mazlila - Rahmi Nazlia - Ika Chastanti



**BIOENTERPRENEURSHIP TRANSFORMASI ILMU BIOLOGI MENJADI
INOVASI EKONOMI BERKELANJUTAN**

Mazlila - Rahmi Nazlia - Ika Chastanti

Editor :
Sahat Parulian Sitorus

Desain Cover :
Mazlila

Sumber :
<https://isbn.jndi.my.id/products/bioenterpreneurship-transformasi-ilmu-biologi-menjadi-inovasi-ekonomi-berkelanjutan>

Tata Letak :
Nurhasanah

Proofreader :
M. Zein

Ukuran :
Jml hal judul 87, Jml hal isi naskah 85, Uk: 14x21 cm

ISBN :
978-643-05-1129-1

Cetakan Pertama :
Mei 2026

Hak Cipta 2026, Pada Penulis

Isi diluar tanggung jawab percetakan

Copyright © 2026 by PT.JNDI
All Right Reserved

Hak cipta dilindungi undang-undang
Dilarang keras menerjemahkan, memfotokopi, atau
memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini
tanpa izin tertulis dari Penerbit.

PENERBIT PT. JASA NIAGA DIGITAL INDONESIA

Jl. H. Maulana Link. VI. Labuhan Ruku, Talawi, Batu Bara, Sumatera Utara 21254

Telp/Wa : 082361274081

<https://isbn.jndi.my.id>

<https://perpusnas.jndi.my.id>

E-mail: office@jndi.my.id

KATA PENGANTAR

Puji syukur ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan buku yang berjudul BIOENTREPRENEURSHIP: Transformasi Ilmu Biologi Menjadi Inovasi Ekonomi Berkelanjutan dengan baik. Buku ini hadir sebagai upaya untuk mengintegrasikan konsep kewirausahaan dengan ilmu biologi, yang dikenal dengan istilah bioentrepreneurship. Konsep ini sangat relevan dengan kebutuhan pendidikan tinggi di Indonesia, khususnya dalam bidang pendidikan biologi, yang tidak hanya menekankan pada pemahaman teori ilmiah, tetapi juga mengajak mahasiswa untuk mengaplikasikan pengetahuan biologi dalam kehidupan nyata, baik untuk inovasi teknologi maupun produk yang bernilai ekonomi.

Bioentrepreneurship menjadi konsep yang semakin penting di tengah perkembangan pesat ilmu biologi dan bioteknologi, serta meningkatnya kebutuhan terhadap solusi yang berorientasi pada keberlanjutan lingkungan. Konsep ini mendorong lahirnya cara berpikir yang kreatif, inovatif, dan aplikatif dalam menghadapi berbagai tantangan global, sekaligus memberikan kontribusi positif terhadap pembangunan ekonomi dan kesejahteraan masyarakat. Melalui pengembangan pengetahuan biologi menjadi produk atau layanan yang bermanfaat, ilmu pengetahuan tidak hanya dipahami sebagai konsep teoritis, tetapi juga sebagai sarana untuk menciptakan nilai dan peluang baru.

Buku ini menyajikan materi yang tidak hanya teoritis, tetapi juga aplikatif, dengan tujuan agar mahasiswa dapat memanfaatkan pengetahuan biologi untuk menciptakan peluang usaha yang berkelanjutan. Dari pengolahan limbah menjadi produk bernilai ekonomis hingga pemanfaatan bioteknologi dalam kesehatan dan pertanian, setiap bab berfokus pada pengembangan keterampilan kewirausahaan yang dapat diintegrasikan dengan ilmu biologi.

Harapannya, buku ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca dalam memahami keterkaitan antara ilmu biologi dan kewirausahaan, sekaligus menjadi referensi dalam pengembangan bioentrepreneurship di berbagai institusi pendidikan maupun lingkungan masyarakat. Buku ini juga diharapkan dapat memberikan kontribusi terhadap penguatan ekonomi berkelanjutan di Indonesia melalui pengembangan inovasi berbasis ilmu hayati.

Ucapan terima kasih disampaikan kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan dalam proses penyusunan buku ini. Semoga buku ini dapat menambah wawasan, memperluas perspektif, serta mendorong lahirnya inovasi dan karya yang bermanfaat dalam bidang bioentrepreneurship di Indonesia.

MAZLILA

DAFTAR ISI

Kata Pengantar	6
-----------------------------	----------

Daftar Isi	9
-------------------------	----------

BAB I Fondasi Konseptualisasi

Bioenterpreneurship	1
----------------------------------	----------

- A. Definisi dan Filososofi Bioenterpreneurship
..... **Error! Bookmark not defined.**
- B. Pentingnya Bioenterpreneurship dalam
Pembangunan Ekonomi Nasional4
- C. Peluang dan Tantangan
Bioenterpreneurship di Indonesia.....7
- D. Paradigma Bio-Sains dalam Transformasi
Industri 11

BAB II Rekonstruksi Kurikulum Pendidikan

Biologi Berbasis Kewirausahaan ..	16
--	-----------

- A. Relevansi Bioenterpreneurship dalam
Pendidikan Tonggi 16
- B. Strategi Integrasi Kurikulum 19
- C. Model Pembelajaran Inovatif.....22
- D. Optimalisasi Praktikum Laboratorium....
.....26

BAB III Pengembangan Kompetensi Dan Kapasitas

Bioenterpreneurship	31
----------------------------------	-----------

A. Taksonomi Kompetensi Bioenterpreneurship	31
B. Pengembangan Keterampilan Teknis dalam Bioteknologi Terapan.....	34
C. Literasi Manajerial dan Strategi Bisnis	37
D. Atribut Psikologis dan Jejaring	40
BAB IV Penerapan Modifikasi Produk Bioenterpreneurship	45
A. Inovasi Sektor Pangan dan Nutrasetika	45
B. Pengembangan Produk Kesehatan Berbasis Herbal	49
C. Strategi Pengembangan Bioenergi dan Bioremediasi.....	53
D. Bioenterpreneurship dalam Sektor Pertanian.....	56
BAB V Tren Masa Depan dan Disrupsi Teknologi Dalam Bioenterpreneurship	61
A. Integrasi Kecerdasan Buatan dan Data Raya	61
B. Bioteknologi Modern dan Rekayasa Genetika	65
C. Bioenterpreneurship dalam Mitigasi Krisis Iklim.....	68
D. Personalisasi Produk Berbasis Bio-Sains	71
Daftar Pustaka	77
Profil Penulis	81

BAB I

FONDASI KONSEPTUALISASI BIOENTERPRENEURSHIP

A. Definisi dan Filosofi Bioentrepreneurship

Bioentrepreneurship adalah bidang keilmuan yang memadukan prinsip-prinsip ilmu biologi dengan kewirausahaan untuk menghasilkan produk, layanan, dan solusi yang bernilai ekonomi sekaligus bermanfaat bagi masyarakat dan lingkungan. Secara harfiah, kata ini terbentuk dari dua unsur pokok, yaitu "bio" yang merujuk pada kehidupan dan segala proses biologis yang menyertainya, serta "entrepreneurship" yang mengacu pada kemampuan seseorang dalam mengidentifikasi peluang, mengelola sumber daya, dan membangun usaha yang menguntungkan. Gabungan keduanya menciptakan sebuah disiplin yang unik, di mana pengetahuan ilmiah menjadi fondasi utama dalam membangun kegiatan usaha yang berkelanjutan.

Filosofi bertumpu dasar bioentrepreneurship pada keyakinan bahwa ilmu pengetahuan, khususnya biologi, tidak semata mata berfungsi sebagai alat untuk memahami alam, tetapi juga sebagai instrumen untuk menciptakan nilai. Pandangan ini mendorong ilmuwan, pendidik, dan mahasiswa untuk melihat laboratorium bukan hanya sebagai ruang riset, melainkan juga sebagai titik awal lahirnya

inovasi komersial. Sejalan dengan perkembangan zaman, filosofi ini semakin relevan karena dunia kini membutuhkan solusi berbasis ilmu pengetahuan untuk mengatasi berbagai tantangan global, mulai dari krisis pangan, perubahan iklim, hingga ancaman penyakit baru.

Bioentrepreneurship pada hakikatnya bersifat multidisiplin. Bidang ini tidak dapat berdiri sendiri hanya dengan bekal satu cabang ilmu. Biologi molekuler memberikan pemahaman mendalam tentang mekanisme kehidupan di tingkat sel dan gen. Pengetahuan ini menjadi dasar dalam pengembangan produk seperti bahan pangan fungsional, obat-obatan berbasis bahan alam, hingga teknologi fermentasi yang digunakan dalam industri. Ekologi, di sisi lain, mengajarkan bagaimana organisme berinteraksi dengan lingkungannya dan bagaimana keseimbangan alam dapat dijaga. Prinsip ekologi sangat penting dalam membangun usaha yang tidak merusak sumber daya memanfaatkannya alam, secara tetapi bijaksana justru dan berkelanjutan.

Manajemen bisnis melengkapi dua cabang ilmu tersebut dengan seperangkat alat untuk merencanakan, mengorganisasi, menjalankan, dan mengevaluasi suatu usaha. Tanpa kemampuan manajerial yang memadai, sebuah temuan ilmiah yang brilian pun tidak akan mampu bertahan di tengah persaingan pasar yang semakin ketat. Oleh karena itu, seorang wirausahawan dalam bidang biologi harus mampu berpikir seperti ilmuwan sekaligus bertindak seperti

seorang manajer. Ia perlu memahami struktur biaya, strategi pemasaran, pengelolaan tim, serta cara membangun hubungan dengan pihak-pihak yang mendukung keberlangsungan usahanya.

Integrasi ketiga bidang ini bukanlah perkara sederhana. Setiap disiplin memiliki bahasa, metode, dan cara pandang yang berbeda. Biologi molekuler cenderung bekerja dalam skala yang sangat kecil dengan tingkat presisi yang tinggi. Ekologi beroperasi dalam skala yang jauh lebih besar dan kompleks, melibatkan interaksi antar spesies dan antar ekosistem. Sementara manajemen bisnis bergerak dalam domain sosial dan ekonomi yang penuh dengan ketidakpastian dan variabel yang sulit diprediksi. Kemampuan untuk menjembatani ketiga dunia ini merupakan kompetensi inti yang harus dimiliki oleh seorang pelaku bioentrepreneurship.

Dalam konteks pendidikan biologi, pemahaman tentang filosofi bioentrepreneurship menjadi sangat penting. Mahasiswa perlu disadarkan bahwa ilmu yang mereka pelajari memiliki potensi aplikasi yang jauh melampaui batas-batas akademik. Pembuatan kompos dari limbah organik, budidaya jamur tiram sebagai usaha mikro, pengembangan produk herbal dari tanaman lokal, atau pembibitan tanaman langka untuk keperluan konservasi sekaligus komersial, semuanya merupakan contoh nyata bagaimana pengetahuan biologi dapat ditransformasikan menjadi kegiatan usaha yang produktif. Melalui pemahaman

filosofi ini, mahasiswa diharapkan mampu melihat ilmu biologi tidak hanya sebagai kumpulan teori, tetapi sebagai modal nyata dalam membangun kehidupan yang lebih baik.

Dengan demikian, definisi bioentrepreneurship tidak berhenti pada tataran konseptual semata. Ia merefleksikan suatu cara pandang baru terhadap hubungan antara ilmu pengetahuan, lingkungan, dan ekonomi. Cara pandang ini menempatkan manusia sebagai pihak yang bertanggung jawab untuk menggunakan pengetahuan biologinya demi menciptakan keseimbangan antara kemajuan ekonomi dan kelestarian alam. Inilah filosofi yang menjadi landasan bagi seluruh pembahasan dalam buku ini.

B.Pentingnya Bioentrepreneurship dalam Pembangunan Ekonomi Nasional

Indonesia adalah salah satu negara dengan kekayaan hayati terbesar di dunia. Hutan tropis yang membentang luas, perairan yang menyimpan ribuan spesies ikan dan biota laut, serta tanah yang subur menjadikan Indonesia sebagai lumbung sumber daya alam yang luar biasa. Namun, kenyataan menunjukkan bahwa sebagian besar kekayaan ini masih diekspor dalam bentuk bahan mentah dengan nilai jual yang rendah. Kayu gelondongan, hasil tambak yang belum diolah, rempah-rempah yang langsung dijual tanpa proses lanjutan, semuanya mencerminkan pola pemanfaatan sumber daya yang belum optimal. Di sinilah urgensi bioentrepreneurship menjadi sangat nyata.

Konsep bio-ekonomi hadir sebagai kerangka pikir yang mendorong pemanfaatan sumber daya hayati secara lebih cerdas dan bernilai tinggi. Bio-ekonomi bukan sekadar istilah baru dalam literatur ekonomi, melainkan sebuah paradigma pembangunan yang menempatkan ilmu hayati sebagai penggerak utama pertumbuhan ekonomi. Dalam kerangka ini, sumber daya hayati tidak hanya dipandang sebagai komoditas yang diperjualbelikan, tetapi sebagai bahan baku bagi proses inovasi yang dapat menghasilkan produk dengan nilai tambah berlipat ganda.

Nilai tambah merupakan konsep kunci dalam memahami urgensi bioentrepreneurship. Sebagai contoh, buah merah yang tumbuh di Papua memiliki nilai jual yang relatif rendah apabila dijual begitu saja di pasar tradisional. Namun, apabila buah tersebut diolah menjadi suplemen kesehatan, diekstrak kandungan antioksidannya, atau diproses menjadi produk perawatan kulit, nilainya dapat meningkat puluhan bahkan ratusan kali lipat. Proses transformasi inilah yang menjadi inti dari bioentrepreneurship, yakni mengubah potensi alam menjadi produk yang diakui dan dibutuhkan oleh pasar.

Dalam konteks pembangunan ekonomi nasional, bioentrepreneurship memiliki peran strategis yang tidak dapat diabaikan. Sektor pertanian, perikanan, kehutanan, dan perkebunan selama ini menjadi tulang punggung perekonomian Indonesia. Namun, tanpa transformasi berbasis ilmu pengetahuan, sektor sektor ini akan terus

terjebak dalam perangkat komoditas, yaitu kondisi di mana harga ditentukan oleh pasar global dan produsen lokal tidak memiliki kendali atas nilai produknya. Bioentrepreneurship menawarkan jalan keluar dari perangkat ini dengan mendorong inovasi produk yang memiliki keunggulan kompetitif berbasis riset dan teknologi.

Penciptaan lapangan kerja merupakan dimensi lain dari urgensi bioentrepreneurship yang tidak kalah penting. Indonesia saat ini sedang berada dalam masa bonus demografi, yaitu periode ketika jumlah penduduk usia produktif jauh lebih besar dibandingkan kelompok usia lainnya. Kondisi ini menjadi peluang sekaligus tantangan. Jika angkatan kerja muda ini tidak terserap secara produktif, bonus demografi justru dapat berubah menjadi beban sosial. Pengembangan ekosistem bioentrepreneurship yang kuat dapat menciptakan ribuan usaha rintisan berbasis biologi yang menyerap tenaga kerja terdidik sekaligus mendorong pertumbuhan ekonomi di daerah.

Lebih dari sekadar urusan ekonomi, bioentrepreneurship juga berkontribusi pada ketahanan pangan dan kedaulatan sumber daya alam bangsa. Ketika petani lokal mampu mengembangkan varietas tanaman unggul sendiri, ketika nelayan dapat mengolah hasil tangkapan menjadi produk bernilai ekspor, dan ketika pengusaha muda mampu memanfaatkan mikroorganisme lokal untuk menghasilkan pupuk hayati yang efisien, maka Indonesia tidak lagi harus bergantung pada produk-produk

impor yang kerap membebani neraca perdagangan. Inilah kontribusi nyata bioentrepreneurship bagi kemandirian ekonomi nasional.

Pemerintah Indonesia sebenarnya telah menyadari pentingnya bio-ekonomi dalam peta jalan pembangunan nasional. Berbagai kebijakan telah diterbitkan untuk mendorong hilirisasi produk hayati, penguatan riset dan pengembangan, serta peningkatan kualitas sumber daya manusia di bidang bioteknologi. Namun, implementasi kebijakan ini memerlukan dukungan dari semua pihak, termasuk institusi pendidikan yang berperan dalam mencetak wirausahawan muda berbasis biologi. Dengan mengintegrasikan bioentrepreneurship dalam kurikulum pendidikan biologi, perguruan tinggi dapat berkontribusi langsung dalam mempercepat terwujudnya visi bio-ekonomi nasional yang berdaulat dan berdaya saing.

C. Peluang dan Tantangan Bioentrepreneurship di Indonesia

Indonesia menyandang predikat sebagai salah satu negara megabiodiversitas di dunia, sebuah julukan yang mencerminkan tingginya keanekaragaman hayati yang dimilikinya. Diperkirakan sekitar 10 persen dari total jenis tumbuhan berbunga yang ada di dunia tumbuh di wilayah Indonesia. Jumlah spesies mamalia mencapai lebih dari 500 jenis, sedangkan jenis burung yang tercatat melebihi 1.700 spesies. Perairan Indonesia yang mencakup Segitiga Karang

Dunia menyimpan keanekaragaman biota laut yang tidak tertandingi di belahan bumi mana pun. Kekayaan hayati sebesar ini bukan sekadar aset lingkungan, melainkan juga modal dasar yang sangat berharga bagi pengembangan bioentrepreneurship.

Peluang yang muncul dari kekayaan biodiversitas ini sangat luas. Pertama, sektor tanaman obat dan herbal menjadi salah satu ladang bioentrepreneurship yang paling menjanjikan. Indonesia memiliki ribuan jenis tanaman yang secara turun-temurun dimanfaatkan oleh masyarakat adat sebagai bahan pengobatan. Tanaman seperti temulawak, sambiloto, kayu manis, dan jahe merah telah terbukti memiliki khasiat yang didukung oleh kajian ilmiah modern. Pengolahan tanaman ini menjadi produk kesehatan yang terstandarisasi dan terjamin mutunya membuka peluang pasar yang sangat besar, baik di dalam negeri maupun di pasar ekspor.

Kedua, sektor pangan fungsional menawarkan peluang yang tidak kalah besar. Konsumen masa kini semakin sadar akan pentingnya makanan yang tidak hanya mengenyangkan, tetapi juga bermanfaat bagi kesehatan. Berbagai bahan pangan lokal Indonesia, seperti tempe, oncom, ubi ungu, sagu, dan berbagai jenis sayuran lokal, mengandung senyawa aktif yang memiliki khasiat kesehatan tinggi. Wirausahawan yang mampu mengemas produk-produk ini dalam format yang modern, higienis, dan menarik

bagi konsumen urban memiliki peluang untuk merebut pasar yang selama ini dikuasai oleh produk-produk impor.

Ketiga, sektor pertanian berkelanjutan dan pengelolaan limbah organik menjadi peluang bioentrepreneurship yang relevan dengan kondisi Indonesia. Pertanian intensif yang selama ini banyak bergantung pada pupuk kimia dan pestisida sintetis mulai menghadapi berbagai permasalahan, mulai dari penurunan kesuburan tanah hingga resistensi hama. Wirausahawan muda yang mampu mengembangkan produk pupuk hayati berbasis mikroorganisme lokal, agen pengendali hayati, atau sistem pertanian terpadu yang memanfaatkan keanekaragaman hayati memiliki potensi besar untuk menjawab kebutuhan pertanian yang semakin mendesak.

Namun, di balik besarnya peluang, Indonesia juga menghadapi sejumlah tantangan serius dalam pengembangan bioentrepreneurship. Tantangan pertama infrastruktur riset adalah keterbatasan pengembangan. Laboratorium di sebagian besar perguruan tinggi daerah masih belum dilengkapi dengan peralatan yang memadai untuk melakukan riset biologi tingkat lanjut. Tanpa fasilitas riset yang baik, potensi biodiversitas lokal tidak dapat dikaji dan dikembangkan secara optimal. Kondisi ini menciptakan kesenjangan yang cukup besar antara potensi alam yang dimiliki Indonesia dengan kemampuan untuk mengubah potensi tersebut menjadi produk inovatif.

Tantangan kedua berkaitan dengan akses terhadap modal usaha. Banyak ide wirausaha berbasis biologi yang memerlukan investasi awal yang cukup besar, terutama untuk pengadaan peralatan produksi, pengujian mutu produk, serta pengurusan izin edar dari lembaga berwenang. Lembaga keuangan konvensional seringkali masih memandang usaha berbasis biologi sebagai investasi berisiko tinggi karena siklus pengembangannya yang panjang dan hasilnya yang belum pasti. Akibatnya, banyak gagasan brilian dari wirausahawan muda di bidang biologi tidak dapat terwujud karena terhalang oleh keterbatasan modal.

Tantangan ketiga adalah kurangnya perlindungan terhadap pengetahuan lokal dan keanekaragaman hayati asli Indonesia. Berbagai kasus pembajakan sumber daya hayati oleh pihak asing, yang dalam literatur internasional dikenal dengan istilah biopiracy, menunjukkan bahwa Indonesia masih rentan terhadap eksploitasi kekayaan biologisnya tanpa mendapatkan manfaat yang adil. Pengembangan bioentrepreneurship yang bertanggung jawab harus diiringi dengan penguatan kerangka hukum perlindungan sumber daya genetik dan pengetahuan tradisional, sehingga manfaat ekonominya benar-benar dapat dinikmati oleh masyarakat lokal.

Meskipun tantangan-tantangan tersebut nyata dan tidak dapat diabaikan, semuanya bukanlah hambatan yang tidak dapat diatasi. Dengan pendekatan yang tepat,

kolaborasi yang solid antara berbagai pemangku kepentingan, serta komitmen dari institusi pendidikan untuk mencetak wirausahawan yang kompeten di bidang biologi, Indonesia memiliki kemungkinan yang sangat besar untuk menjadi pemimpin dalam pengembangan bioentrepreneurship di kawasan Asia Tenggara. Modal biodiversitas yang dimiliki Indonesia adalah aset yang tidak dimiliki oleh banyak negara lain, dan pemanfaatannya secara cerdas melalui bioentrepreneurship dapat menjadi salah satu kunci kemakmuran bangsa di masa depan.

D. Paradigma Bio-Sains dalam Transformasi Industri

Sejarah pembangunan ekonomi Indonesia sebagian besar diwarnai oleh pola eksploitasi sumber daya alam yang bersifat ekstraktif. Hasil bumi, hasil hutan, dan hasil laut diambil dalam jumlah besar, kemudian dijual atau diekspor dalam kondisi mentah atau setengah jadi. Pola ini menghasilkan pendapatan dalam jangka pendek, tetapi menyimpan berbagai permasalahan dalam jangka panjang, antara lain kerusakan lingkungan, habisnya cadangan sumber daya, dan tidak terbangunnya kemampuan industri yang mandiri.

Paradigma bio-sains hadir sebagai tawaran jalan keluar dari jebakan pola pembangunan semacam ini. Paradigma bio-sains menempatkan pengetahuan ilmiah tentang kehidupan sebagai motor penggerak transformasi industri. Dalam paradigma ini, proses produksi tidak lagi

hanya mengandalkan kekuatan fisik dan kekayaan alam yang melimpah, tetapi juga bergantung pada kapasitas riset, inovasi teknologi, dan kemampuan untuk mengekstrak nilai dari sumber daya hayati secara efisien dan berkelanjutan. Pergeseran ini bukan sekadar perubahan teknologi, melainkan perubahan mendasar dalam cara manusia memandang dan memperlakukan alam.

Salah satu contoh paling nyata dari transformasi ini dapat ditemukan dalam industri pangan. Dulu, kedelai yang dihasilkan petani Indonesia sebagian besar dijual begitu saja atau diolah secara tradisional menjadi tempe dan tahu. Kini, dengan pendekatan bio-sains, kedelai dan produk turunannya dapat diolah menjadi protein nabati terstruktur, isolat protein, susu kedelai terfortifikasi, hingga produk pengganti daging berbasis tanaman yang tengah meledak di pasar global. Nilai satu kilogram kedelai yang diolah menjadi produk-produk tersebut jauh melampaui nilai kedelai mentah yang dijual di tingkat petani. Inilah esensi dari transformasi industri berbasis bio-sains.

Pergeseran paradigma ini juga sangat terlihat dalam industri kesehatan dan farmasi. Indonesia selama ini banyak mengimpor bahan baku obat-obatan dari negara lain, meskipun di dalam negeri tersedia ribuan jenis tanaman yang berpotensi menjadi sumber senyawa bioaktif. Dengan memanfaatkan perkembangan ilmu kimia bahan alam, bioteknologi, dan genomik, para peneliti dan wirausahawan dapat mengidentifikasi, mengekstrak, memurnikan, dan

mengembangkan senyawa-senyawa dari tanaman lokal menjadi produk farmasi dan suplemen kesehatan yang berstandar tinggi. Proses ini tidak hanya mengurangi ketergantungan pada impor, tetapi juga membuka lapangan kerja baru di sektor industri berbasis pengetahuan.

Dalam sektor lingkungan dan energi, paradigma bio-sains juga membawa perubahan yang signifikan. Limbah organik yang selama ini dianggap sebagai masalah kini dapat dipandang sebagai sumber daya yang menunggu untuk dikelola. Teknologi pengolahan limbah berbasis mikroorganisme, pembuatan gas hayati dari kotoran ternak dan sampah organik, serta produksi pupuk hayati dari bahan-bahan sisa pertanian semuanya merupakan contoh bagaimana bio-sains dapat mengubah masalah lingkungan menjadi peluang ekonomi. Wirausahawan yang bergerak di bidang ini tidak hanya mencari keuntungan, tetapi juga memberikan kontribusi nyata terhadap pemulihan dan pelestarian lingkungan hidup.

Perubahan paradigma ini juga menuntut perubahan dalam sistem pendidikan. Institusi pendidikan yang selama ini hanya mencetak lulusan yang siap bekerja sebagai karyawan kini ditantang untuk juga mencetak wirausahawan yang mampu menciptakan lapangan kerja. Kurikulum pendidikan biologi perlu dirancang ulang agar tidak hanya mengajarkan konsep konsep teoritis yang terpisah dari realitas, tetapi juga membekali mahasiswa dengan kemampuan untuk mengaplikasikan pengetahuan ilmiah

dalam konteks kewirausahaan yang nyata. Hal ini mencakup pengenalan terhadap proses riset dan pengembangan produk, pemahaman tentang regulasi yang berlaku, serta keterampilan dalam mengelola dan memasarkan produk berbasis biologi.

Transformasi industri berbasis bio-sains juga memerlukan ekosistem pendukung yang kuat. Ekosistem ini mencakup lembaga riset dan perguruan tinggi yang aktif menghasilkan inovasi, kebijakan pemerintah yang mendukung hilirisasi produk hayati, lembaga keuangan yang memahami karakteristik usaha berbasis biologi, serta pasar yang teredukasi untuk menerima produk-produk inovatif tersebut. Tanpa ekosistem yang memadai, bahkan inovasi terbaik pun akan kesulitan untuk bertahan dan berkembang. Oleh karena itu, pembangunan ekosistem bioentrepreneurship harus dilakukan secara sistematis dan melibatkan semua pemangku kepentingan.

Pada akhirnya, paradigma bio-sains dalam transformasi industri bukan hanya tentang perubahan teknologi atau strategi bisnis. Ia adalah tentang perubahan cara pandang suatu bangsa terhadap kekayaan alam yang dimilikinya. Indonesia, dengan segala potensi biodiversitasnya, berdiri di depan sebuah persimpangan sejarah. Pilihan untuk terus mengeksploitasi alam secara mentah akan membawa kemakmuran jangka pendek tetapi kerusakan jangka panjang. Sebaliknya, pilihan untuk mengolah kekayaan hayati dengan pendekatan bio-sains

yang bertanggung jawab akan membuka jalan menuju pembangunan yang berkelanjutan, berkeadilan, dan berdaya saing tinggi di tengah persaingan global yang semakin ketat. Bioentrepreneurship adalah salah satu kendaraan utama dalam perjalanan menuju tujuan tersebut.

BAB II

REKONSTRUKSI KURIKULUM PENDIDIKAN BIOLOGI BERBASIS KEWIRAUSAHAAN

A.Relevansi Bioentrepreneurship dalam Pendidikan Tinggi

Pendidikan tinggi di Indonesia menghadapi tekanan yang semakin besar untuk menghasilkan lulusan yang tidak sekadar berpengetahuan, tetapi juga mampu beradaptasi dan berkontribusi secara nyata dalam kehidupan masyarakat dan dunia kerja. Tuntutan ini muncul dari perubahan struktural ekonomi global yang kini semakin berpijak pada pengetahuan dan inovasi sebagai sumber daya utama. Di tengah perubahan tersebut, pendidikan biologi memiliki posisi yang sangat strategis karena bidang ini bersentuhan langsung dengan kebutuhan manusia yang paling mendasar, yaitu pangan, kesehatan, lingkungan hidup, dan energi.

Namun, kenyataan di lapangan menunjukkan adanya kesenjangan yang cukup dalam antara capaian pembelajaran di perguruan tinggi dengan kebutuhan nyata dunia kerja. Lulusan biologi seringkali sangat kompeten dalam hal pengetahuan teoritis, tetapi kurang siap dalam hal keterampilan praktis, kemampuan berinovasi, dan kapasitas untuk menciptakan lapangan kerja secara mandiri.

Kesenjangan ini bukan semata mata kesalahan mahasiswa, melainkan cerminan dari sistem pendidikan yang selama ini cenderung berorientasi pada transfer pengetahuan, bukan pada pembentukan kompetensi yang menyeluruh dan relevan dengan kebutuhan zaman.

Bioentrepreneurship hadir sebagai jembatan yang menghubungkan dua dunia yang selama ini berjalan sendiri-sendiri, yaitu dunia ilmu pengetahuan dan dunia usaha. Ketika bioentrepreneurship diintegrasikan ke dalam pendidikan tinggi, ia tidak hanya menambahkan satu mata kuliah baru dalam kurikulum. Ia mengubah cara pandang seluruh ekosistem pendidikan biologi terhadap tujuan dan manfaat ilmu yang dipelajari. Mahasiswa tidak lagi sekadar belajar tentang fotosintesis, metabolisme, atau genetika sebagai konsep yang terisolasi. Mereka belajar bagaimana pengetahuan tentang fotosintesis dapat menjadi dasar pengembangan panel surya berbasis bahan organik, bagaimana pemahaman tentang metabolisme mikroba dapat dimanfaatkan untuk memproduksi bahan bakar hayati, dan bagaimana rekayasa genetika dapat membuka peluang dalam industri farmasi dan pangan.

Harmonisasi antara capaian pembelajaran dan kebutuhan pasar tenaga kerja merupakan inti dari landasan relevansi bioentrepreneurship dalam pendidikan tinggi. Kerangka Kualifikasi Nasional Indonesia yang berlaku saat ini mewajibkan setiap program studi untuk merumuskan capaian pembelajaran yang mencakup empat pengetahuan, ranah, keterampilan keterampilan khusus. yaitu sikap,

umum, dan Integrasi bioentrepreneurship secara langsung memperkuat ranah keterampilan umum dan keterampilan khusus karena mendorong mahasiswa untuk mengembangkan kemampuan berpikir kreatif, bekerja dalam tim lintas disiplin, mengelola proyek, serta memahami aspek bisnis dan regulasi yang berkaitan dengan produk berbasis biologi.

Pasar tenaga kerja di sektor hayati saat ini membutuhkan profil lulusan yang jauh lebih beragam dibandingkan sekadar peneliti atau pengajar. Industri pangan fungsional, perusahaan rintisan di bidang kesehatan berbasis tanaman, lembaga pengolahan limbah organik, serta berbagai badan usaha di sektor pertanian berkelanjutan semuanya membutuhkan tenaga profesional yang memiliki dasar ilmu biologi sekaligus kemampuan manajerial dan wirausaha. Dengan mengintegrasikan bioentrepreneurship dalam pendidikan tinggi, perguruan tinggi dapat menghasilkan lulusan yang memenuhi profil ini, sehingga mereka tidak hanya siap untuk masuk ke pasar kerja yang sudah ada, tetapi juga mampu menciptakan pasar baru melalui inovasi.

Relevansi bioentrepreneurship dalam pendidikan tinggi juga didukung oleh arah kebijakan nasional yang semakin menekankan pentingnya kewirausahaan sebagai strategi pembangunan. Program-program pemerintah yang mendorong mahasiswa untuk menjadi wirausahawan muda, pengembangan kawasan sains dan teknologi, serta kebijakan hilirisasi produk hayati semuanya menciptakan lingkungan

yang kondusif bagi tumbuhnya bioentrepreneurship di tingkat perguruan tinggi. Institusi pendidikan yang responsif terhadap arah kebijakan ini akan mampu memposisikan dirinya sebagai inkubator inovasi, bukan sekadar pencetak ijazah.

Dengan demikian, landasan relevansi bioentrepreneurship dalam pendidikan tinggi bersifat multidimensi. Ia berpijak pada kebutuhan ekonomi yang terus berkembang, tuntutan pasar tenaga kerja yang semakin kompleks, arah kebijakan pemerintah yang pro-inovasi, dan tanggung jawab moral institusi pendidikan untuk menghasilkan lulusan yang benar-benar siap menghadapi tantangan zamannya. Membangun kurikulum pendidikan biologi yang berbasis kewirausahaan bukan lagi pilihan, melainkan keharusan bagi setiap perguruan tinggi yang ingin tetap relevan dan memberikan kontribusi nyata bagi kemajuan bangsa.

B. Strategi Integrasi Kurikulum

Pengembangan kurikulum pendidikan biologi yang mengakomodasi nilai-nilai kewirausahaan memerlukan pendekatan yang terencana, sistematis, dan berakar pada pemahaman mendalam tentang kebutuhan mahasiswa, industri, dan masyarakat. Integrasi ini tidak dapat dilakukan secara serampangan dengan sekadar menambahkan satu atau dua mata kuliah kewirausahaan ke dalam daftar mata kuliah yang ada. Diperlukan rekonstruksi yang lebih menyeluruh, yaitu penataan ulang hubungan antar mata kuliah,

pembaruan metode pembelajaran, serta penyesuaian sistem penilaian agar semuanya mendukung terbentuknya kompetensi wirausaha pada mahasiswa.

Salah satu model integrasi kurikulum yang terbukti efektif adalah model kurikulum spiral, di mana nilai-nilai dan keterampilan wirausaha diperkenalkan secara bertahap dari semester awal hingga akhir dengan tingkat kompleksitas yang terus meningkat. Pada semester pertama dan kedua, mahasiswa dikenalkan pada konsep dasar bioentrepreneurship, pemikiran desain, dan pengidentifikasian masalah di masyarakat yang dapat diselesaikan melalui pendekatan biologi. Pada semester tengah, mereka mulai mengembangkan gagasan usaha, melakukan analisis pasar sederhana, dan merancang prototipe produk. Pada semester akhir, mahasiswa diharapkan mampu mengintegrasikan seluruh pembelajaran dalam bentuk proyek wirausaha nyata yang dapat dipresentasikan kepada calon investor atau mitra industri.

Model integrasi lain yang dapat diterapkan adalah pendekatan mata kuliah terpadu, di mana satu mata kuliah dirancang untuk mempertemukan beberapa kompetensi sekaligus, yakni kompetensi biologi, kewirausahaan, dan komunikasi ilmiah. Misalnya, mata kuliah Bioteknologi Terapan tidak hanya mengajarkan teknik fermentasi atau kultur jaringan, tetapi juga mencakup analisis kelayakan usaha untuk produk yang dihasilkan, strategi pemasaran berbasis media digital, serta pemahaman tentang regulasi yang berlaku bagi produk bioteknologi. Dengan pendekatan

ini, mahasiswa mengalami keterpaduan ilmu secara langsung, bukan hanya dalam teori.

Kurikulum yang adaptif terhadap nilai-nilai kewirausahaan juga harus memperhatikan dimensi kolaborasi lintas program studi. Bioentrepreneurship pada dasarnya adalah bidang yang bersifat lintas batas. Seorang wirausahawan di bidang biologi tidak cukup hanya menguasai ilmu biologinya. Ia juga membutuhkan pengetahuan tentang hukum bisnis, akuntansi dasar, desain produk, dan komunikasi pemasaran. Oleh karena itu, program studi pendidikan biologi sebaiknya membuka ruang bagi mahasiswanya untuk mengambil mata kuliah dari program studi lain, seperti manajemen, teknik pangan, atau desain komunikasi visual, sebagai bagian dari pemenuhan beban studi mereka.

Peran dosen dalam strategi integrasi kurikulum ini sangat menentukan. Dosen bukan lagi sekadar penyampai informasi, tetapi menjadi fasilitator, mentor, dan mitra belajar bagi mahasiswa. Untuk dapat menjalankan peran ini secara efektif, dosen pendidikan biologi perlu mendapatkan pengembangan profesional yang mencakup aspek kewirausahaan dan inovasi. Program pelatihan bagi dosen, kunjungan industri, keterlibatan dalam proyek riset terapan bersama sektor swasta, serta kolaborasi dengan wirausahawan sukses di bidang biologi merupakan beberapa cara yang dapat memperkaya kompetensi dosen dalam

mengajarkan bioentrepreneurship secara autentik dan relevan.

Sistem penilaian juga harus mengalami penyesuaian ketika kurikulum direkonstruksi berbasis kewirausahaan. Penilaian berbasis tes tertulis yang hanya mengukur kemampuan mengingat dan memahami konsep perlu dilengkapi dengan penilaian berbasis kinerja, seperti presentasi produk, laporan kelayakan usaha, demonstrasi prototipe, atau portofolio inovasi. Penilaian semacam ini tidak hanya mengukur apa yang diketahui mahasiswa, tetapi juga apa yang dapat mereka lakukan dengan pengetahuan tersebut. Inilah hakikat dari pendidikan yang berorientasi pada kompetensi, bukan sekadar pada nilai angka.

Pengembangan kemitraan antara perguruan tinggi dengan dunia industri dan pemerintah daerah juga merupakan komponen penting dalam strategi integrasi kurikulum. Kemitraan ini dapat diwujudkan dalam berbagai bentuk, mulai dari program magang di perusahaan berbasis biologi, kuliah tamu oleh praktisi industri, hibah penelitian bersama, hingga pengembangan kawasan inkubasi usaha di lingkungan kampus. Melalui kemitraan yang kuat, mahasiswa tidak hanya belajar di dalam kelas, tetapi juga terpapar langsung pada ekosistem inovasi yang sesungguhnya.

C. Model Pembelajaran Inovatif

Transformasi kurikulum pendidikan biologi berbasis kewirausahaan tidak akan berhasil tanpa perubahan

mendasar dalam metode pembelajaran yang diterapkan di dalam kelas maupun di luar kelas. Model pembelajaran yang inovatif dibutuhkan untuk menggantikan atau melengkapi pendekatan ceramah satu arah yang selama ini dominan. Dua model yang paling relevan dan telah terbukti efektif bioentrepreneurship dalam adalah konteks pembelajaran berbasis proyek dan metode kasus.

Pembelajaran berbasis proyek adalah sebuah pendekatan di mana mahasiswa belajar melalui keterlibatan aktif dalam merancang, melaksanakan, dan mengevaluasi suatu proyek yang memiliki relevansi nyata dengan kehidupan atau kebutuhan masyarakat. Dalam konteks pendidikan biologi yang berorientasi kewirausahaan, proyek yang dirancang tidak hanya bersifat ilmiah, tetapi juga memiliki dimensi bisnis dan sosial. Mahasiswa tidak hanya ditantang untuk menjawab pertanyaan ilmiah, tetapi juga untuk menghasilkan sesuatu yang dapat memberikan nilai tambah, baik bagi pengguna akhir maupun bagi lingkungan.

Sebagai contoh, dalam mata kuliah Ekologi Terapan, mahasiswa dapat diberikan proyek untuk mengembangkan solusi pengelolaan sampah organik di lingkungan kampus atau di kelurahan terdekat. Proyek ini dimulai dengan survei lapangan untuk mengidentifikasi sumber dan volume sampah organik yang dihasilkan. Selanjutnya, mahasiswa merancang sistem pengomposan atau pengolahan dengan bantuan mikroorganisme yang sesuai. Pada tahap akhir, mereka menyusun rencana bisnis sederhana untuk memasarkan produk kompos yang dihasilkan kepada petani

atau taman kota setempat. Melalui satu proyek ini, mahasiswa sekaligus mengasah mikrobiologi, teknologi kompetensi lingkungan, ekologi, dan kewirausahaan.

Keunggulan pembelajaran berbasis proyek terletak pada kemampuannya dalam mengembangkan berbagai keterampilan secara bersamaan. Mahasiswa belajar untuk merencanakan pekerjaan secara sistematis, bekerja sama dalam tim dengan pembagian peran yang jelas, menghadapi hambatan dan mencari solusi secara mandiri, serta mempresentasikan hasil kerja mereka kepada audiens yang berbeda beda. Semua keterampilan ini adalah keterampilan yang sangat dibutuhkan dalam dunia wirausaha, di mana ketidakpastian dan kebutuhan untuk beradaptasi merupakan hal yang tidak dapat dihindari.

Metode merupakan kasus model pembelajaran kedua yang sangat relevan dalam bioentrepreneurship. Metode ini berasal dari tradisi pendidikan bisnis dan hukum, tetapi kini semakin banyak diadopsi dalam pendidikan sains dan teknologi karena kemampuannya dalam mengembangkan kemampuan berpikir kritis dan pengambilan keputusan. Dalam metode kasus, mahasiswa diberikan narasi lengkap tentang situasi nyata atau skenario yang mencerminkan permasalahan nyata yang dihadapi oleh pelaku usaha atau komunitas di bidang biologi. Mahasiswa kemudian diminta untuk menganalisis situasi tersebut, mengidentifikasi akar

masalah, dan mengusulkan solusi yang didukung oleh pengetahuan ilmiah dan pertimbangan praktis.

Kasus yang digunakan dalam bioentrepreneurship dapat berupa kasus tentang perusahaan rintisan yang sedang berjuang mengembangkan produk pupuk hayati dan menghadapi persoalan kualitas yang tidak konsisten, atau kasus tentang komunitas petani yang ingin beralih ke pertanian organik tetapi terkendala oleh biaya sertifikasi yang tinggi dan keterbatasan pengetahuan teknis. Kasus-kasus semacam ini tidak memiliki jawaban tunggal yang pasti benar, sehingga mendorong mahasiswa untuk berpikir secara kontekstual, mempertimbangkan berbagai sudut pandang, dan mengembangkan argumen yang terstruktur dan berbasis data.

Penggabungan antara pembelajaran berbasis proyek dan metode kasus dalam satu desain mata kuliah dapat menciptakan pengalaman belajar yang sangat kaya. Pada awal perkuliahan, mahasiswa dapat menganalisis kasus-kasus yang relevan untuk membangun pemahaman tentang lanskap masalah dan peluang dalam bioentrepreneurship. Kemudian, wawasan yang diperoleh dari analisis kasus digunakan sebagai landasan dalam merancang dan melaksanakan proyek mereka sendiri. Dengan pendekatan ini, pembelajaran menjadi progresif, kontekstual, dan benar-benar bermakna bagi mahasiswa.

Penting juga untuk dicatat bahwa model pembelajaran inovatif ini memerlukan dukungan infrastruktur yang memadai. Ruang kelas yang fleksibel dan mendukung kerja

kelompok, akses terhadap sumber daya digital untuk riset pasar, serta mentor dari dunia industri yang dapat memberikan umpan balik autentik terhadap gagasan mahasiswa semuanya merupakan komponen yang perlu dipersiapkan oleh institusi pendidikan. Tanpa dukungan infrastruktur ini, bahkan metode pembelajaran terbaik pun akan sulit diimplementasikan secara optimal.

D. Optimalisasi Praktikum Laboratorium

Praktikum laboratorium merupakan salah satu ciri khas dan keunggulan pendidikan sains, termasuk biologi. Melalui praktikum, mahasiswa bersentuhan langsung dengan fenomena biologis yang selama ini hanya mereka ketahui dari buku teks. Namun, dalam konteks pendidikan yang berorientasi pada kewirausahaan, praktikum konvensional yang semata-mata bertujuan untuk memverifikasi teori yang sudah ada perlu ditransformasi menjadi sesuatu yang lebih produktif dan bernilai. Praktikum berbasis inkubasi produk adalah model transformasi ini, di mana kegiatan laboratorium tidak hanya berakhir dengan laporan praktikum, tetapi dengan lahirnya prototipe produk yang memiliki potensi komersial.

Praktikum konvensional biasanya memiliki alur yang sangat terstruktur dan terprediksi. Dosen atau asisten memberikan prosedur yang sudah baku, mahasiswa mengikuti langkah langkah tersebut secara berurutan, mengamati hasilnya, kemudian menuliskan laporan yang membandingkan hasil pengamatan dengan teori yang ada.

Model ini memang efektif untuk mengajarkan keterampilan teknis dasar dan membangun pemahaman konseptual. Namun, ia kurang melatih kemampuan mahasiswa untuk berpikir kreatif, menghadapi masalah yang tidak terduga, atau mengambil inisiatif dalam mengembangkan sesuatu yang baru.

Transformasi menuju praktikum berbasis inkubasi produk dimulai dengan perubahan pertanyaan dasar yang menjadi pemandu kegiatan laboratorium. Dalam praktikum konvensional, pertanyaan yang diajukan biasanya berbunyi: "Apa yang terjadi apabila...?" atau "Bagaimana mekanisme proses ini bekerja?" Dalam praktikum berbasis inkubasi produk, pertanyaan pemandunya bergeser menjadi: "Bagaimana kita dapat memanfaatkan proses ini untuk menghasilkan sesuatu yang berguna?" atau "Produk apa yang dapat dikembangkan dari bahan dan organisme yang tersedia di laboratorium ini?"

Pergeseran pertanyaan ini membawa konsekuensi yang signifikan terhadap seluruh desain kegiatan laboratorium. Mahasiswa tidak lagi hanya mengikuti prosedur yang sudah disiapkan, tetapi terlibat dalam proses perancangan eksperimen secara aktif. Mereka perlu mempertimbangkan variabel-variabel yang relevan, menentukan parameter keberhasilan, merancang sistem pengukuran, dan menginterpretasikan hasil dalam konteks yang lebih luas dari sekadar verifikasi teori. Proses ini secara langsung melatih kemampuan berpikir

ilmiah tingkat tinggi yang merupakan fondasi dari inovasi.

Sebagai contoh konkret, dalam praktikum bioteknologi pangan, mahasiswa dapat diberikan tantangan untuk mengembangkan produk fermentasi baru berbasis bahan baku lokal yang memiliki nilai gizi tinggi dan daya terima yang baik di masyarakat. Kelompok mahasiswa bebas memilih bahan baku, jenis mikroorganisme yang digunakan, serta teknik fermentasi yang diterapkan. Mereka bertanggung jawab untuk merancang prosedur, melaksanakan fermentasi, mengevaluasi hasilnya dari segi organoleptik dan kandungan gizinya, serta mempresentasikan produk mereka kepada kelompok lain dan kepada narasumber dari industri pangan. Produk terbaik dari kegiatan ini bahkan dapat didaftarkan sebagai produk inovasi mahasiswa di tingkat universitas.

Praktikum berbasis inkubasi produk juga membuka peluang bagi mahasiswa untuk memahami aspek-aspek di luar laboratorium yang sangat penting dalam perjalanan sebuah produk menuju pasar. Pengujian mutu dan keamanan produk, pengurusan izin dari lembaga berwenang, pengemasan yang menarik dan informatif, serta strategi penetapan harga semuanya merupakan dimensi yang dapat diperkenalkan secara bertahap dalam kerangka praktikum yang diperluas ini. Dengan demikian, laboratorium bukan lagi tempat yang terasing

dari realitas dunia usaha, melainkan ruang awal tempat lahirnya inovasi yang siap dikembangkan lebih lanjut.

Implementasi praktikum berbasis inkubasi produk tentu memerlukan penyesuaian dalam sistem penilaian. Penilaian tidak dapat hanya didasarkan pada akurasi hasil pengamatan atau kerapian laporan tertulis. Komponen penilaian perlu diperluas untuk mencakup orisinalitas gagasan, keberhasilan proses pengembangan produk, kemampuan presentasi dan argumentasi ilmiah, serta refleksi kritis mahasiswa terhadap proses yang telah mereka jalani. Penilaian berbasis rubrik yang mencakup semua dimensi ini akan memberikan gambaran yang jauh lebih komprehensif tentang kompetensi yang telah dikembangkan mahasiswa.

Pada akhirnya, transformasi praktikum laboratorium menjadi inkubasi produk inovatif adalah sebuah investasi jangka panjang yang hasilnya tidak selalu langsung terlihat. Namun, ketika seorang mahasiswa berhasil mengembangkan produk yang kemudian dapat dipasarkan, ketika gagasan yang lahir dari laboratorium kampus berhasil mendapat pendanaan dari program kompetisi inovasi, atau ketika lulusan yang terlatih melalui praktikum semacam ini berhasil membangun usaha sendiri yang berkelanjutan, maka investasi tersebut terbukti memberikan hasil yang jauh melampaui nilai akademik semata. Inilah visi dari pendidikan biologi

yang benar-benar berorientasi pada kewirausahaan dan kebermanfaatan nyata bagi masyarakat.

BAB III | PENGEMBANGAN KOMPETENSI DAN KAPASITAS BIOENTERPRENEUR

A. Taksonomi Kompetensi Bioentrepreneurship

Setiap profesi kompetensi membutuhkan seperangkat yang khas dan terstruktur. Wirausahawan di bidang biologi tidak terkecuali. Untuk dapat membangun dan mengelola usaha berbasis hayati secara efektif, seseorang perlu menguasai rangkaian kompetensi yang mencakup dimensi teknis, manajerial, dan personal sekaligus. Pemetaan kompetensi ini, atau yang dalam dunia pendidikan dikenal sebagai taksonomi kompetensi, sangat penting sebagai panduan dalam merancang program pembelajaran yang terarah dan terukur. Tanpa peta kompetensi yang jelas, pendidikan bioentrepreneurship akan sulit menghasilkan lulusan yang benar-benar siap menghadapi tantangan dunia usaha.

Dimensi kompetensi pertama dalam bioentrepreneurship taksonomi adalah keterampilan teknis biologi. Keterampilan ini mencakup semua pengetahuan dan kemampuan praktis yang berkaitan langsung dengan proses proses biologis yang menjadi basis usaha. Seorang wirausahawan yang mengembangkan produk pupuk hayati perlu memahami siklus nitrogen dalam tanah, karakteristik berbagai jenis bakteri penambat nitrogen, serta teknik perbanyakan dan formulasi inokulan. Seorang yang bergerak di bidang pengolahan pangan fungsional perlu menguasai prinsip fermentasi, pemahaman tentang metabolit sekunder yang dihasilkan oleh mikroorganisme, serta kemampuan untuk mengkarakterisasi produk secara kimia dan organoleptik.

Keterampilan teknis biologi ini tidak dapat dipelajari secara dangkal. Ia membutuhkan latihan yang berulang, eksposur terhadap berbagai kondisi dan situasi laboratorium yang berbeda, serta kemampuan untuk memecahkan masalah teknis yang muncul selama proses pengembangan produk. Dalam konteks bioentrepreneurship, keterampilan teknis yang kuat menjadi fondasi kredibilitas seorang wirausahawan di mata mitra, investor, dan pelanggan. Seseorang yang tidak memahami produknya sendiri secara mendalam akan kesulitan meyakinkan pihak lain tentang keunggulan dan keandalan produk tersebut.

Dimensi kedua adalah keterampilan manajerial bisnis. Jika keterampilan teknis berkaitan dengan "apa" yang

diproduksi, maka keterampilan manajerial berkaitan dengan "bagaimana" usaha itu dijalankan secara efisien dan menguntungkan. Keterampilan manajerial dalam bioentrepreneurship mencakup kemampuan merencanakan bisnis secara sistematis, mengelola keuangan usaha termasuk arus kas dan laporan laba rugi, memahami regulasi yang berlaku bagi produk berbasis biologi, serta mengelola hubungan dengan pemasok, distributor, dan pelanggan. Tanpa keterampilan manajerial yang memadai, sebuah usaha yang berbasis pada teknologi biologi yang canggih sekalipun dapat gagal karena pengelolaan yang buruk.

Dimensi ketiga adalah kompetensi lintas batas, yaitu kemampuan untuk bekerja dan berkomunikasi secara efektif di antara dua dunia yang berbeda, yakni dunia sains dan dunia bisnis. Wirausahawan yang sukses di bidang biologi adalah mereka yang dapat menjelaskan konsep ilmiah yang kompleks dalam bahasa yang dapat dipahami oleh orang awam, investor, atau regulator. Mereka juga mampu memahami kebutuhan pasar dan menerjemahkan kebutuhan tersebut ke dalam agenda riset dan pengembangan yang konkret. Kompetensi lintas batas ini sering kali menjadi pembeda antara ilmuwan yang sekadar pintar dan wirausahawan yang benar-benar dapat menggerakkan inovasi dari laboratorium menuju pasar.

Pemetaan ketiga dimensi kompetensi ini dalam sebuah taksonomi yang terstruktur memungkinkan institusi pendidikan untuk merancang kurikulum yang komprehensif

dan progresif. Setiap mata kuliah, setiap kegiatan praktikum, dan setiap pengalaman lapangan dapat dipetakan ke dalam taksonomi ini untuk memastikan bahwa semua dimensi kompetensi mendapat yang perhatian proporsional. Taksonomi kompetensi juga menjadi alat yang berguna dalam proses evaluasi diri bagi mahasiswa, sehingga mereka dapat mengidentifikasi celah kompetensi mereka dan secara aktif mencari pengalaman belajar yang dapat mengisi celah tersebut sebelum mereka memasuki dunia kerja atau memulai usaha sendiri.

B. Pengembangan Keterampilan Teknis dalam Bioteknologi Terapan

Bioteknologi terapan adalah jantung dari sebagian besar usaha dalam spektrum bioentrepreneurship. Berbeda dengan bioteknologi riset dasar yang tujuan utamanya adalah menghasilkan pengetahuan baru, bioteknologi terapan berorientasi pada penggunaan pengetahuan biologis untuk menghasilkan produk atau proses yang dapat segera dimanfaatkan oleh masyarakat. Dalam konteks ini, keterampilan teknis yang dimiliki mahasiswa perlu memiliki nilai komersial yang nyata, artinya keterampilan tersebut harus relevan dengan kebutuhan industri dan dapat menghasilkan produk yang memiliki permintaan pasar.

Penguasaan protokol laboratorium yang memiliki nilai komersial merupakan inti dari pengembangan keterampilan teknis dalam bioteknologi terapan. Protokol

laboratorium adalah serangkaian prosedur baku yang digunakan untuk melaksanakan suatu proses biologis secara konsisten dan dapat diulang. Dalam dunia industri, konsistensi adalah syarat mutlak bagi produk yang akan dijual kepada konsumen. Sebuah produk suplemen herbal, misalnya, harus memiliki kandungan senyawa aktif yang stabil dari satu batch produksi ke batch berikutnya. Hal ini hanya dapat dicapai apabila seluruh proses produksi, mulai dari pemilihan bahan baku hingga pengemasan akhir, dilaksanakan sesuai dengan protokol yang terstandarisasi dan terdokumentasi dengan baik.

Beberapa area keterampilan teknis dalam bioteknologi terapan yang sangat relevan dengan bioentrepreneurship antara lain mencakup teknologi fermentasi, kultur jaringan tanaman, produksi enzim, serta pengolahan dan pengawetan pangan berbasis biologi. Teknologi fermentasi, sebagai contoh, adalah salah satu teknologi biologi tertua yang hingga kini tetap menjadi tulang punggung berbagai industri, mulai dari industri minuman, pangan fungsional, pupuk hayati, hingga bahan bakar alternatif. Mahasiswa yang menguasai teknologi fermentasi secara mendalam, termasuk pemilihan galur mikroorganisme, optimasi kondisi pertumbuhan, dan pengendalian proses, memiliki modal teknis yang sangat berharga untuk memulai usaha di berbagai sektor industri.

Kultur jaringan tanaman merupakan keterampilan teknis lain yang memiliki nilai komersial tinggi, terutama di

Indonesia yang kaya akan tanaman bernilai ekonomi. Kemampuan untuk tanaman memperbanyak langka, menghasilkan bibit dalam jumlah besar secara aseptik, atau mengembangkan varietas tanaman dengan sifat unggul melalui teknik kultur jaringan membuka peluang usaha yang sangat luas. Dari bisnis penyediaan bibit tanaman hias premium, hingga perbanyak tanaman obat yang terancam punah untuk keperluan industri farmasi herbal, semua membutuhkan kompetensi kultur jaringan yang solid.

Aspek yang sering kali kurang mendapat perhatian dalam pengembangan keterampilan teknis adalah kemampuan untuk mendokumentasikan dan mengoptimasi proses. Dalam industri, sebuah proses biologi yang tidak dapat didokumentasikan dengan baik adalah proses yang tidak dapat diulang secara konsisten, dan proses yang tidak konsisten tidak dapat diskalakan menjadi produksi massal. Oleh karena itu, mahasiswa perlu dilatih bukan hanya untuk melaksanakan prosedur laboratorium, tetapi juga untuk mencatat setiap langkah secara teliti, menganalisis sumber variasi dalam hasilnya, dan secara sistematis melakukan penyempurnaan terhadap prosedur yang ada. Keterampilan dokumentasi dan optimasi ini adalah yang membedakan seorang teknisi laboratorium dari seorang inovator yang sesungguhnya.

Pemahaman tentang regulasi produk bioteknologi juga merupakan bagian dari keterampilan teknis yang perlu dikuasai oleh mahasiswa. Di Indonesia, produk pangan

fungsional, suplemen kesehatan, dan produk bioteknologi pertanian semuanya tunduk pada regulasi yang ditetapkan oleh lembaga berwenang seperti Badan Pengawas Obat dan Makanan serta Kementerian Pertanian. Mahasiswa perlu memahami persyaratan teknis yang harus dipenuhi agar produk mereka dapat memperoleh izin edar yang sah. Pemahaman ini bukan hanya penting dari sisi kepatuhan hukum, tetapi juga dari sisi kualitas produk, karena regulasi pada dasarnya adalah standar minimum yang menjamin keamanan dan kemanfaatan produk bagi konsumen.

C. Literasi Manajerial dan Strategi Bisnis

Kemampuan teknis yang kuat tanpa diimbangi literasi manajerial yang memadai ibarat mesin yang bertenaga besar tetapi tidak memiliki kemudi. Energi yang besar itu tidak akan membawa ke tujuan yang diinginkan. Dalam konteks bioentrepreneurship, literasi manajerial mencakup kemampuan untuk memahami dan menggunakan berbagai alat analisis dan perencanaan bisnis yang memungkinkan seorang wirausahawan untuk membuat keputusan yang tepat berdasarkan data dan logika, bukan hanya intuisi semata.

Analisis pasar adalah titik awal dari seluruh proses perencanaan bisnis yang baik. Sebelum mengembangkan produk apa pun, seorang wirausahawan perlu memahami siapa calon pelanggannya, apa kebutuhan dan permasalahan yang ingin diselesaikan oleh produk tersebut, seberapa besar

potensi pasar yang ada, dan siapa saja pesaing yang sudah beroperasi di segmen pasar yang sama. Analisis pasar dalam konteks bioentrepreneurship memiliki dimensi tambahan yang tidak ditemukan dalam industri lain, yaitu pertimbangan terhadap penerimaan masyarakat terhadap produk berbasis bioteknologi. Di Indonesia, di mana banyak konsumen masih memiliki preferensi terhadap produk alami yang diproduksi secara tradisional, wirausahawan perlu memahami dinamika ini dan merancang strategi komunikasi yang tepat untuk membangun kepercayaan konsumen.

Pemodelan bisnis adalah alat perencanaan yang sangat penting dalam tahap awal pengembangan usaha. Salah satu kerangka pemodelan bisnis yang paling banyak digunakan dalam ekosistem usaha rintisan adalah Kanvas Bisnis Ramping, sebuah alat visual yang memungkinkan wirausahawan untuk memetakan sembilan elemen kunci dari model bisnis mereka dalam satu lembar yang ringkas dan mudah dipahami. Kesembilan elemen tersebut mencakup segmen pelanggan yang menjadi target, proposisi nilai yang ditawarkan, saluran distribusi yang digunakan, hubungan dengan pelanggan, sumber pendapatan, sumber daya kunci yang dibutuhkan, aktivitas utama yang dilakukan, mitra strategis yang dilibatkan, dan struktur biaya yang perlu ditanggung.

Bagi mahasiswa pendidikan biologi yang baru mengenal dunia bisnis, Kanvas Bisnis Ramping menawarkan cara pandang yang sangat terstruktur dan tidak

mengintimidasi. Alih-alih langsung membuat rencana bisnis formal yang tebal dan kompleks, mahasiswa dapat memulai dengan mengisi kanvas ini secara bertahap, dimulai dari proposisi nilai yang merupakan inti dari seluruh model bisnis. Dalam bioentrepreneurship, proposisi nilai biasanya berakar pada keunggulan ilmiah yang dimiliki oleh produk, misalnya efektivitas yang telah dibuktikan melalui uji klinis, keunggulan ramah lingkungan dibandingkan produk konvensional, atau kemampuan untuk memenuhi kebutuhan pasar yang belum terlayani oleh produk yang sudah ada.

Manajemen operasional memiliki karakteristik bio-industri khusus yang membedakannya dari industri lain. Bahan baku yang digunakan dalam bio-industri seringkali bersifat mudah rusak, sensitif terhadap kondisi penyimpanan, dan memiliki variabilitas alami yang cukup tinggi. Hal ini menuntut sistem manajemen rantai pasokan yang sangat cermat dan responsif. Mahasiswa perlu memahami konsep-konsep seperti pengendalian kualitas berbasis statistik, sistem manajemen persediaan bahan baku biologis, serta prosedur penanganan dan penyimpanan yang sesuai dengan standar keamanan pangan atau farmasi yang berlaku.

Pengelolaan keuangan merupakan aspek literasi manajerial yang sering kali paling diabaikan oleh wirausahawan muda berbasis sains. Banyak usaha rintisan di bidang bioteknologi yang memiliki produk yang secara ilmiah unggul, tetapi gagal karena manajemen keuangannya

buruk. Mahasiswa perlu memahami setidaknya konsep dasar arus kas, titik impas produksi, struktur biaya tetap dan biaya variabel, serta cara membaca laporan keuangan sederhana. Pemahaman ini tidak harus setara dengan kemampuan seorang akuntan profesional, tetapi harus cukup untuk memungkinkan wirausahawan mengidentifikasi kapan usahanya sedang dalam kondisi sehat dan kapan membutuhkan penyesuaian strategi.

Strategi pemasaran produk berbasis biologi juga merupakan bagian penting dari literasi manajerial. Produk bioteknologi seringkali menghadapi tantangan pemasaran yang unik karena konsumen awam mungkin tidak memiliki pengetahuan yang cukup untuk memahami nilai ilmiah dari produk tersebut. Di sinilah kemampuan komunikasi sains menjadi sangat penting. Wirausahawan yang mampu menerjemahkan keunggulan ilmiah produknya ke dalam narasi yang sederhana, menarik, dan dapat dipercaya oleh konsumen umum memiliki keunggulan kompetitif yang signifikan. Pemanfaatan media digital, sertifikasi dari lembaga terpercaya, serta testimoni dari pengguna nyata merupakan beberapa strategi pemasaran yang terbukti efektif untuk produk-produk dalam kategori ini.

D. Atribut Psikologis dan Jejaring

Kompetensi teknis dan literasi manajerial adalah prasyarat yang diperlukan, tetapi belum cukup untuk menjamin keberhasilan seorang bioentrepreneur. Ada

dimensi ketiga yang bersifat lebih personal dan psikologis, namun perannya dalam menentukan keberhasilan wirausahawan sangat besar. Dimensi ini mencakup atribut atribut mental dan karakter yang memungkinkan seseorang untuk bertahan menghadapi ketidakpastian, belajar dari kegagalan, dan terus bergerak maju meskipun situasi tampak sulit. Dalam dunia kewirausahaan berbasis biologi yang penuh dengan siklus riset dan pengembangan yang panjang serta hasil yang tidak selalu pasti, atribut psikologis ini menjadi penentu apakah seseorang akan menyerah di tengah jalan atau bertahan hingga berhasil.

Mentalitas ketangkasan merupakan salah satu atribut psikologis yang paling penting dalam bioentrepreneurship. Ketangkasan dalam konteks kewirausahaan merujuk pada kemampuan untuk beradaptasi dengan cepat terhadap perubahan kondisi pasar, teknologi, atau regulasi. Dunia bioteknologi bergerak dengan sangat cepat. Temuan ilmiah baru dapat mengubah lanskap industri secara drastis dalam waktu singkat. Regulasi yang berlaku untuk produk tertentu dapat berubah seiring dengan perkembangan kebijakan pemerintah. Kondisi pasar dapat bergeser akibat munculnya produk baru dari pesaing atau akibat perubahan preferensi konsumen. Wirausahawan yang memiliki mentalitas ketangkasan tidak melihat perubahan perubahan ini sebagai ancaman, melainkan sebagai informasi baru yang perlu diolah dan dijadikan dasar penyesuaian strategi.

Toleransi terhadap ketidakpastian dan kegagalan adalah atribut psikologis lain yang sangat relevan. Proses pengembangan produk berbasis biologi hampir selalu diwarnai oleh kegagalan eksperimen, hasil yang tidak sesuai harapan, dan penolakan dari berbagai pihak. Seorang wirausahawan yang tidak siap menghadapi kegagalan akan mudah putus asa dan menyerah. Sebaliknya, wirausahawan yang memiliki ketahanan mental yang kuat akan memandang setiap kegagalan sebagai data berharga yang memberikan informasi tentang apa yang tidak berhasil dan mengapa, sehingga ia dapat merancang pendekatan yang lebih baik pada percobaan berikutnya. Kemampuan untuk bangkit dari kegagalan dan terus mencoba dengan perspektif yang lebih matang adalah salah satu ciri khas wirausahawan yang pada akhirnya berhasil.

Etika bisnis adalah fondasi moral yang tidak boleh diabaikan dalam pengembangan kapasitas bioentrepreneur. Bisnis yang berbasis pada sumber daya hayati memiliki tanggung jawab yang besar terhadap kelestarian lingkungan, kesejahteraan komunitas lokal yang menjadi pemasok bahan baku, serta keamanan konsumen yang menggunakan produknya. Wirausahawan yang mengabaikan etika bisnis mungkin dapat meraih keuntungan dalam jangka pendek, tetapi pada akhirnya akan berhadapan dengan konsekuensi hukum, kerusakan reputasi, atau penolakan dari masyarakat yang semakin sadar akan isu-isu keberlanjutan dan keadilan. Oleh karena itu, pendidikan bioentrepreneurship perlu menanamkan etika bisnis bukan sebagai aturan yang harus

dipatuhi secara terpaksa, melainkan sebagai nilai yang diyakini dan dihayati oleh setiap mahasiswa.

Pembangunan jejaring atau jaringan hubungan merupakan dimensi lain yang sangat penting dalam ekosistem bioentrepreneurship. Tidak ada seorang wirausahawan yang berhasil sendirian tanpa dukungan dari ekosistem yang lebih luas. Dalam konteks biologi dan bioteknologi, ekosistem ini mencakup komunitas ilmiah yang menjadi sumber pengetahuan dan inovasi terbaru, lembaga pendanaan riset yang dapat mendukung pengembangan produk, asosiasi industri yang dapat membuka akses ke pasar dan mitra bisnis, serta komunitas wirausahawan sesama bidang yang dapat menjadi tempat berbagi pengalaman dan saling mendukung.

Kolaborasi antar pelaku dalam ekosistem sains dan bisnis adalah kekuatan pendorong utama di balik banyak inovasi besar dalam sejarah bioteknologi. Penemuan antibiotik yang mengubah dunia medis, pengembangan pupuk hayati yang merevolusi pertanian organik, dan lahirnya industri minuman fungsional semuanya merupakan hasil dari kolaborasi lintas disiplin dan lintas institusi yang melibatkan ilmuwan, wirausahawan, investor, dan pemangku kepentingan lainnya. Mahasiswa perlu memahami bahwa membangun jejaring bukan hanya tentang mengumpulkan kenalan sebanyak-banyaknya, tetapi tentang membangun hubungan yang saling menguntungkan dan didasari oleh kepercayaan serta rasa hormat yang tulus.

Keterampilan membangun dan merawat jejaring dapat dan perlu dilatih sejak dini dalam pendidikan bioentrepreneurship. Partisipasi dalam seminar ilmiah, kompetisi inovasi mahasiswa, program magang di perusahaan berbasis biologi, serta keterlibatan dalam komunitas kewirausahaan kampus semuanya merupakan arena latihan yang sangat berharga untuk mengembangkan kemampuan berinteraksi dan membangun hubungan yang produktif. Mahasiswa juga perlu belajar memanfaatkan platform digital untuk memperluas jangkauan jejaringnya melampaui batas geografis, sehingga mereka dapat terhubung dengan komunitas bioentrepreneurship yang lebih luas di tingkat nasional maupun internasional.

Pada akhirnya, pengembangan atribut psikologis dan kemampuan membangun jejaring harus dipandang sebagai proses jangka panjang yang tidak dapat diselesaikan dalam satu atau dua semester kuliah. Ia adalah proses pembentukan karakter yang berlangsung sepanjang masa studi dan bahkan berlanjut jauh setelah kelulusan. Peran institusi pendidikan adalah menciptakan lingkungan dan pengalaman yang menjadi katalisator bagi proses pembentukan karakter ini, sehingga ketika mahasiswa akhirnya melangkah keluar dari kampus dan terjun ke dunia nyata, mereka membawa bukan hanya pengetahuan dan keterampilan, tetapi juga karakter dan mentalitas yang menjadikan mereka wirausahawan sejati yang mampu memberikan dampak positif bagi masyarakat dan lingkungan.

BAB IV

PENERAPAN MODIFIKASI PRODUK BIOENTERPRENEURSHIP

A. Inovasi Sektor Pangan dan Nutrasetika

Sektor pangan merupakan salah satu arena paling dinamis dalam pengembangan bioentrepreneurship, terutama di Indonesia yang memiliki kekayaan bahan pangan lokal yang luar biasa beragam. Inovasi dalam sektor ini tidak hanya berhenti pada pengolahan bahan makanan agar lebih lezat atau awet, tetapi berkembang jauh ke arah pengembangan produk yang memiliki khasiat kesehatan yang terukur dan dapat dibuktikan secara ilmiah. Kategori produk semacam ini dikenal dengan istilah nutrasetika, yaitu produk yang berada di batas antara pangan dan obat, memberikan manfaat fisiologis yang melampaui sekadar pemenuhan kebutuhan gizi dasar.

Fermentasi adalah teknologi biologis yang paling tua dan paling demokratis dalam sejarah peradaban manusia. Hampir setiap kebudayaan di dunia memiliki produk fermentasi tradisional yang menjadi bagian dari identitas kuliner dan warisan kearifan lokal mereka. Indonesia tidak terkecuali. Tempe, tape singkong, tape ketan, oncom, dan berbagai minuman fermentasi tradisional dari berbagai

daerah semuanya merupakan produk fermentasi yang telah lama menjadi bagian dari kehidupan sehari-hari masyarakat Indonesia. Yang membedakan pendekatan bioentrepreneurship dari sekadar melanjutkan tradisi adalah upaya untuk memahami, mengoptimalkan, dan mendiversifikasi proses fermentasi tersebut berdasarkan pengetahuan ilmiah yang mendalam.



Gambar 1. Contoh produk fermentasi dalam bentuk makanan (nata de coco dan tempe) dan minuman (kombucha dan susu kefir)

Dalam konteks inovasi pangan berbasis fermentasi, pemanfaatan limbah kulit buah menawarkan peluang yang

sangat menarik sekaligus memberikan permasalahan 50 solusi lingkungan. terhadap Indonesia menghasilkan jutaan ton limbah kulit buah setiap tahunnya, mulai dari kulit pisang, kulit nanas, kulit manggis, kulit jeruk, hingga kulit kakao. Sebagian besar limbah ini berakhir di tempat pembuangan sampah tanpa dimanfaatkan, padahal kandungan senyawa bioaktifnya sangat tinggi. Kulit manggis, misalnya, mengandung senyawa xanton yang memiliki aktivitas antioksidan jauh lebih tinggi dibandingkan daging buahnya. Kulit nanas mengandung enzim bromelain yang dapat dimanfaatkan dalam industri pangan dan farmasi. Kulit pisang kaya akan pektin yang dapat digunakan sebagai bahan pengental alami dalam industri pangan.

Pengolahan limbah kulit buah menjadi produk bernilai tinggi dapat dilakukan melalui beberapa pendekatan yang berbeda. Pendekatan pertama adalah ekstraksi senyawa bioaktif untuk dijadikan bahan baku produk nutrasetika. Melalui proses ekstraksi yang tepat, senyawa senyawa berharga dari kulit buah dapat dipisahkan, dimurnikan, dan dikemas dalam bentuk suplemen atau bahan tambahan pangan fungsional. Pendekatan kedua adalah fermentasi langsung kulit buah menggunakan mikroorganisme pilihan untuk menghasilkan produk pangan baru. Kulit nanas yang difermentasi dengan bakteri asam asetat, misalnya, dapat menghasilkan cuka nanas yang memiliki nilai gizi dan cita rasa khas. Kulit kakao yang difermentasi dapat diolah

menjadi minuman fungsional dengan kandungan senyawa flavonoid yang tinggi.

Pengembangan minuman probiotik berbasis bahan lokal juga merupakan area inovasi yang sangat menjanjikan. Kombucha, yang merupakan minuman fermentasi berbasis teh yang dibuat dengan bantuan kultur simbiotik bakteri dan ragi, telah menjadi tren global dalam kategori minuman fungsional. Wirausahawan muda di Indonesia dapat mengembangkan variasi kombucha berbasis teh lokal seperti teh gambir dari Sumatra Barat, teh hitam dari berbagai daerah penghasil teh di Indonesia, atau bahkan minuman fermentasi berbasis bahan yang sama sekali bukan teh, seperti air kelapa atau sari buah lokal. Inovasi semacam ini tidak hanya menciptakan produk yang unik dan memiliki identitas lokal yang kuat, tetapi juga membuka peluang pasar ekspor yang sangat luas.

Rekayasa pangan lokal juga mencakup pengembangan produk-produk berbasis sumber protein nabati lokal yang selama ini belum dimanfaatkan secara optimal. Berbagai jenis kacang-kacangan lokal, biji-bijian, dan umbi umbian yang tumbuh subur di berbagai daerah Indonesia menyimpan potensi protein nabati yang sangat besar. Melalui proses fermentasi, pengolahan enzimatis, atau teknik ekstrusi, bahan-bahan ini dapat diubah menjadi produk pangan dengan profil gizi yang sangat baik dan tekstur yang menarik bagi konsumen modern. Kunci keberhasilan dalam inovasi pangan lokal ini adalah

kemampuan untuk memadukan pengetahuan ilmiah tentang bahan dan proses biologis dengan pemahaman mendalam tentang selera dan kebutuhan konsumen.

Aspek standardisasi dan penjaminan mutu produk pangan inovatif tidak boleh diabaikan dalam bioentrepreneurship. Produk yang diklaim memiliki khasiat kesehatan tertentu harus dapat membuktikan klaim tersebut melalui pengujian yang sah. Di Indonesia, produk pangan fungsional yang akan dipasarkan secara luas harus memenuhi persyaratan yang ditetapkan oleh Badan Pengawas Obat dan Makanan. Proses mendapatkan izin ini memang memerlukan waktu dan biaya yang tidak sedikit, tetapi ia merupakan investasi yang sangat penting untuk membangun kepercayaan konsumen dan melindungi reputasi produk dalam jangka panjang.

B. Pengembangan Produk Kesehatan Berbasis Herbal

Indonesia merupakan salah satu pusat keanekaragaman flora dunia, dengan ribuan jenis tanaman yang secara tradisional telah digunakan oleh berbagai suku bangsa di Nusantara sebagai bahan pengobatan. Pengetahuan tradisional tentang tanaman obat ini telah terakumulasi selama berabad-abad melalui proses pengamatan, percobaan, dan pewarisan budaya yang panjang. Kini, dengan tersedianya teknologi analisis kimia dan farmakologi yang canggih, pengetahuan tradisional ini dapat dikonfirmasi, diperkuat, dan dikembangkan menjadi produk kesehatan

modern yang memiliki standar kualitas, keamanan, dan efektivitas yang terukur.

Standardisasi produk farmasi alami dari keanekaragaman flora adalah kunci yang membedakan produk herbal yang dapat dipercaya dari sekadar ramuan tradisional yang belum teruji. Standardisasi mencakup beberapa aspek yang saling berkaitan. Pertama adalah standardisasi bahan baku, yang berarti memastikan bahwa tanaman yang digunakan sebagai bahan baku memiliki identitas botani yang benar, ditanam atau dipanen pada kondisi yang optimal, dan bebas dari kontaminan seperti logam berat, pestisida, atau mikroba patogen. Kedua adalah standardisasi proses ekstraksi, yang memastikan bahwa metode yang digunakan untuk mengekstrak senyawa aktif dari bahan tanaman konsisten dan menghasilkan produk dengan kandungan senyawa aktif yang stabil dari satu batch ke batch berikutnya.

Pengembangan produk pembersih tangan herbal berbasis lidah buaya adalah salah satu contoh nyata bagaimana pengetahuan tentang tanaman obat lokal dapat diubah menjadi produk kesehatan yang memiliki nilai pasar tinggi. Lidah buaya atau Aloe vera adalah tanaman yang sangat mudah dibudidayakan di Indonesia dan telah lama dikenal memiliki sifat antibakteri, antiradang, dan melembapkan kulit. Gel yang terkandung di dalam daun lidah buaya mengandung berbagai senyawa bioaktif,

termasuk antrakuinon, polisakarida, dan berbagai enzim yang berkontribusi pada khasiatnya.

Proses pengembangan produk pembersih tangan herbal yang memenuhi standar keamanan dan efektivitas dimulai dari seleksi bahan baku yang ketat. Lidah buaya yang digunakan harus berasal dari varietas yang memiliki kandungan gel yang tinggi, dipanen pada umur yang tepat, dan diolah segera setelah panen untuk mencegah degradasi senyawa aktifnya. Gel yang diekstrak kemudian dicampur dengan bahan aktif lain yang berfungsi sebagai antiseptik, seperti etanol dengan kadar yang sesuai dengan standar yang ditetapkan. Bahan-bahan tambahan seperti gliserin ditambahkan untuk menjaga kelembapan kulit dan mencegah efek kering yang sering ditimbulkan oleh produk berbasis alkohol.

Selain produk pembersih tangan, keanekaragaman flora Indonesia menyediakan bahan baku untuk berbagai kategori produk kesehatan lainnya. Tanaman seperti temulawak, kunyit, jahe, dan sambiloto telah menjadi fokus penelitian ilmiah yang intensif dalam beberapa dekade terakhir. Senyawa-senyawa bioaktif yang terkandung dalam tanaman-tanaman ini, seperti kurkuminoid dari kunyit dan temulawak, gingerol dari jahe, dan andrografolida dari sambiloto, telah terbukti memiliki berbagai aktivitas biologis yang bermanfaat bagi kesehatan, mulai dari aktivitas antiradang, antioksidan, antivirus, hingga efek perlindungan terhadap fungsi hati dan sistem kekebalan tubuh.

Tantangan terbesar dalam pengembangan produk kesehatan berbasis herbal yang terstandarisasi adalah memastikan konsistensi kandungan senyawa aktif dalam produk akhir. Kandungan senyawa aktif dalam tanaman obat dapat sangat bervariasi tergantung pada faktor faktor seperti varietas tanaman, lokasi dan kondisi budidaya, waktu panen, serta metode pascapanen dan pengolahan. Untuk mengatasi tantangan ini, wirausahawan di bidang herbal perlu mengembangkan sistem kontrol kualitas yang komprehensif, yang mencakup pengujian bahan baku masuk menggunakan metode analisis seperti kromatografi, pengujian produk setengah jadi pada setiap tahap proses produksi, dan pengujian produk akhir sebelum diedarkan ke pasar.

Peluang pasar untuk produk kesehatan berbasis herbal Indonesia sangat besar, baik di dalam negeri maupun di pasar internasional. Tren global menuju gaya hidup yang lebih alami dan penggunaan produk-produk berbasis alam untuk pemeliharaan kesehatan terus menguat dari tahun ke tahun. Konsumen di negara-negara maju semakin tertarik dengan produk herbal dari daerah tropis yang memiliki keanekaragaman hayati tinggi, dan Indonesia memiliki posisi yang sangat baik untuk memenuhi permintaan ini. Kunci keberhasilan dalam memasuki pasar global adalah kemampuan untuk memenuhi standar kualitas internasional, membangun identitas merek yang kuat dan autentik, serta mendokumentasikan khasiat produk melalui penelitian ilmiah yang dapat dipertanggungjawabkan.

C. Strategi Pengembangan Bioenergi dan Bioremediasi

Krisis energi dan kerusakan lingkungan adalah dua tantangan global yang saling berkaitan dan sama-sama mendesak untuk diatasi. Ketergantungan dunia pada bahan bakar fosil tidak hanya menimbulkan masalah keterbatasan sumber daya yang tidak dapat diperbaharui, tetapi juga berkontribusi besar terhadap perubahan iklim melalui emisi gas rumah kaca. Di sisi lain, berbagai aktivitas industri dan pertanian menghasilkan limbah yang mencemari tanah, air, dan udara, mengancam kesehatan ekosistem dan kualitas hidup manusia. Bioentrepreneurship menawarkan solusi yang unik karena ia dapat menjawab kedua tantangan ini sekaligus, dengan memanfaatkan organisme hidup dan proses biologis untuk menghasilkan energi bersih dan memulihkan lingkungan yang tercemar.

Bioetanol adalah salah satu produk bioenergi yang paling mudah dikembangkan dalam skala kecil dan menengah menggunakan bahan baku yang tersedia secara lokal di Indonesia. Singkong, sorgum, tebu, dan berbagai jenis umbi-umbian lainnya semuanya mengandung karbohidrat dalam jumlah besar yang dapat diubah menjadi gula dan selanjutnya difermentasi oleh ragi *Saccharomyces cerevisiae* untuk menghasilkan etanol. Singkong menjadi pilihan yang sangat menarik karena merupakan tanaman yang sangat adaptif, dapat tumbuh di tanah yang kurang subur sekalipun, dan diproduksi dalam jumlah sangat besar di berbagai wilayah Indonesia.

Proses produksi bioetanol dari singkong secara garis besar melibatkan empat tahapan utama. Tahapan pertama adalah persiapan bahan baku, di mana singkong dikupas, dipotong kecil, dan direbus atau dikukus hingga pati yang terkandung di dalamnya mengalami gelatinisasi. Tahapan kedua adalah sakarifikasi, yaitu proses pemecahan pati menjadi gula sederhana menggunakan enzim atau asam. Pada skala usaha kecil, penambahan air panas dan inkubasi pada suhu yang tepat sudah cukup untuk memulai proses ini, meskipun penggunaan enzim amilase komersial akan memberikan hasil yang lebih efisien. Tahapan ketiga adalah fermentasi, di mana ragi ditambahkan ke dalam larutan gula dan dibiarkan bekerja dalam kondisi anaerob selama tiga hingga tujuh hari. Tahapan keempat adalah pemurnian, di mana etanol yang terkandung dalam campuran hasil fermentasi dipisahkan melalui proses penyulingan untuk menghasilkan etanol dengan kadar kemurnian yang cukup tinggi.

Biogas adalah produk bioenergi lain yang sangat relevan dengan kondisi Indonesia, terutama di daerah pedesaan yang memiliki banyak ternak dan menghasilkan limbah pertanian dalam jumlah besar. Biogas dihasilkan melalui proses penguraian bahan organik oleh bakteri dalam kondisi tanpa oksigen, menghasilkan campuran gas yang didominasi oleh gas metana. Gas metana ini dapat digunakan langsung sebagai bahan bakar untuk memasak atau menghasilkan listrik. Pengembangan sistem produksi biogas dalam skala rumah tangga atau komunitas merupakan

bioentrepreneurship peluang yang sangat konkret, terutama di kawasan yang belum terjangkau oleh jaringan energi listrik nasional.

Bioremediasi adalah penggunaan organisme hidup, terutama mikroorganisme, untuk mendegradasi atau menetralisasi polutan dari lingkungan yang tercemar. Tanah yang tercemar oleh logam berat akibat aktivitas pertambangan, air yang terkontaminasi oleh limbah industri, dan sedimen sungai yang mengandung residu pestisida semuanya dapat ditangani menggunakan pendekatan bioremediasi yang tepat. Berbagai jenis bakteri dan jamur memiliki kemampuan alami untuk mengurai senyawa-senyawa toksik menjadi produk yang lebih aman bagi lingkungan, atau bahkan untuk mengakumulasi logam berat dari tanah dan air sehingga dapat dipisahkan dan didaur ulang.

Peluang bisnis dalam bioremediasi di Indonesia sangat besar, mengingat banyaknya kawasan yang membutuhkan pemulihan akibat kerusakan lingkungan dari berbagai aktivitas industri ekstraktif. Perusahaan pertambangan, perkebunan sawit, dan berbagai industri lainnya diwajibkan oleh regulasi untuk memulihkan kondisi lingkungan yang rusak akibat operasi mereka. Wirausahawan yang memiliki kompetensi dalam pengembangan dan aplikasi teknologi bioremediasi dapat menawarkan layanan pemulihan lingkungan kepada perusahaan perusahaan ini, sebuah bisnis yang memiliki

potensi pendapatan yang sangat besar sekaligus memberikan manfaat nyata bagi kelestarian lingkungan.

Strategi pengembangan usaha di bidang bioenergi dan bioremediasi memerlukan pemahaman yang kuat tentang ekologi mikroba dan biokimia proses, kemampuan untuk merancang sistem produksi yang efisien dan dapat diskalakan, serta pemahaman mendalam tentang regulasi lingkungan yang berlaku. Wirausahawan di bidang ini juga perlu membangun kemitraan strategis dengan lembaga riset dan perguruan tinggi untuk memastikan bahwa teknologi yang mereka gunakan selalu berada di garis terdepan perkembangan ilmu pengetahuan. Dengan strategi yang tepat, bisnis di bidang bioenergi dan bioremediasi tidak hanya menguntungkan secara ekonomi, tetapi juga memberikan kontribusi nyata terhadap upaya global dalam menghadapi perubahan iklim dan degradasi lingkungan.

D. Bioentrepreneurship dalam Sektor Pertanian

Pertanian adalah sektor yang paling langsung terhubung dengan sumber daya hayati dan oleh karena itu menjadi salah satu lahan paling subur bagi berkembangnya bioentrepreneurship. Di Indonesia, sektor pertanian tidak hanya menjadi sumber penghidupan bagi jutaan keluarga petani, tetapi juga merupakan fondasi ketahanan pangan nasional. Namun, pertanian konvensional yang selama ini dominan menghadapi berbagai permasalahan serius, mulai dari penurunan kesuburan tanah akibat penggunaan pupuk

kimia yang berlebihan, peningkatan resistensi hama terhadap pestisida sintetis, hingga degradasi keanekaragaman hayati di lahan pertanian. Bioentrepreneurship dalam sektor pertanian hadir untuk menawarkan permasalahan-permasalahan solusi ini terhadap melalui pendekatan yang berbasis pada pengetahuan biologis.

Pupuk organik cair adalah salah satu produk bioentrepreneurship pertanian yang paling mudah dikembangkan dan memiliki pasar yang sangat luas. Berbeda dengan pupuk kimia yang menyediakan nutrisi dalam bentuk yang langsung dapat diserap oleh tanaman, pupuk organik cair bekerja melalui mekanisme biologis yang lebih kompleks dan berkelanjutan. Pupuk organik cair yang baik tidak hanya mengandung unsur hara makro dan mikro yang dibutuhkan tanaman, tetapi juga mengandung berbagai asam organik, hormon pertumbuhan alami, dan populasi mikroorganisme bermanfaat yang secara bersama-sama meningkatkan kesuburan tanah dan mendukung pertumbuhan tanaman yang sehat dan optimal.

Proses pembuatan pupuk organik cair pada dasarnya memanfaatkan kemampuan mikroorganisme pengurai untuk mendegradasi bahan-bahan organik kompleks menjadi bentuk yang lebih sederhana dan mudah diserap oleh tanaman. Bahan baku yang digunakan dapat sangat beragam, mulai dari sisa-sisa sayuran dan buah-buahan, air cucian beras, urin ternak yang difermentasi, hingga air kelapa yang mengandung berbagai senyawa organik dan mineral. Proses

fermentasi berlangsung dalam kondisi yang terkendali, dengan penambahan starter mikroorganisme yang mengandung campuran bakteri pengurai, bakteri asam laktat, dan jenis mikroorganisme bermanfaat lainnya.

Hasil akhir dari fermentasi bahan organik yang berhasil adalah cairan berwarna kecokelatan dengan aroma yang khas dan mengandung berbagai nutrisi dalam bentuk yang mudah diserap tanaman. Cairan ini kemudian disaring untuk memisahkan partikel-partikel kasar, diencerkan dengan air sesuai konsentrasi yang dianjurkan, dan dikemas dalam botol atau jerigen yang telah disterilisasi. Ampas padat yang tersisa dari proses penyaringan tidak terbuang sia-sia, melainkan dapat diolah lebih lanjut menjadi pupuk kompos padat yang juga memiliki nilai jual tersendiri. Dengan demikian, seluruh bahan baku dimanfaatkan secara optimal tanpa menghasilkan limbah yang berarti.



Gambar 2. Teknik pengolahan pupuk organik

Bio-pestisida merupakan produk bioentrepreneurship pertanian lain yang semakin diminati seiring dengan meningkatnya kesadaran petani dan konsumen tentang bahaya residu pestisida kimia dalam produk pangan. Bio pestisida adalah agen pengendali hama yang berasal dari organisme hidup atau produk metabolisme organisme, dan bekerja melalui mekanisme yang spesifik terhadap hama sasaran tanpa menimbulkan dampak negatif yang luas terhadap organisme bukan sasaran. Beberapa kelompok bio-pestisida yang telah banyak dikembangkan dan terbukti efektif antara lain mencakup insektisida berbasis bakteri *Bacillus thuringiensis*, fungisida berbasis jamur *Trichoderma*, dan nematisida berbasis cendawan entomopatogen.

Teknologi pascapanen berbasis biologi adalah dimensi lain dari bioentrepreneurship pertanian yang sering kali kurang mendapat perhatian padahal dampaknya sangat signifikan. Indonesia diperkirakan kehilangan antara 20 hingga 40 persen dari total hasil panen setiap tahunnya akibat kerusakan pasca panen yang disebabkan oleh serangan jamur, bakteri, dan hama penyimpanan. Pengembangan produk berbasis biologi untuk memperpanjang masa simpan produk pertanian, mulai dari pelapis buah berbasis kitosan yang diekstrak dari limbah cangkang udang, hingga gas atmosfer modifikasi menggunakan karbon dioksida yang dihasilkan secara biologis, merupakan peluang bisnis yang

sangat besar sekaligus memberikan kontribusi nyata dalam mengurangi pemborosan pangan.

Keberhasilan bioentrepreneurship dalam sektor pertanian berkelanjutan sangat bergantung pada kemampuan wirausahawan untuk membangun kepercayaan petani sebagai pengguna utama produk mereka. Petani adalah pengambil keputusan yang sangat rasional dan berbasis pengalaman. Mereka tidak akan beralih ke produk baru hanya karena klaim pemasaran yang menarik. Mereka membutuhkan bukti nyata bahwa produk tersebut bekerja sesuai janji, mudah digunakan, tersedia secara konsisten, dan ditawarkan dengan harga yang kompetitif dibandingkan produk konvensional yang selama ini sudah mereka kenal. Oleh karena itu, wirausahawan di bidang pertanian berkelanjutan perlu membangun strategi pendekatan kepada petani yang berbasis pada demonstrasi lapangan, edukasi yang sabar dan konsisten, serta layanan purna jual yang responsif terhadap permasalahan yang mungkin dihadapi petani dalam penggunaan produk baru tersebut.

BAB V | **TREN MASA DEPAN DAN DISRUPSI TEKNOLOGI DALAM BIOENTERPRENEURSHIP**

A. Integrasi Kecerdasan Buatan dan Data Raya

Dunia bisnis berbasis biologi sedang mengalami perubahan yang paling dramatis dalam sejarahnya. Perubahan ini bukan didorong oleh penemuan organisme baru atau teknik fermentasi yang belum pernah ada sebelumnya, melainkan oleh kemampuan manusia untuk mengolah data dalam jumlah yang sangat besar dengan kecepatan yang melampaui batas kemampuan analisis konvensional. Kecerdasan buatan dan teknologi pengolahan data raya telah memasuki dunia biologi dan membawa serta serangkaian kemungkinan baru yang beberapa tahun lalu masih terasa seperti fiksi ilmiah. Bagi wirausahawan muda di bidang biologi, pemahaman tentang perpaduan antara ilmu hayati dan teknologi digital ini bukan lagi pilihan tambahan, melainkan kebutuhan mendasar untuk dapat bersaing di lanskap industri masa depan.

Bioinformatika adalah disiplin ilmu yang menjadi jembatan antara dunia biologi dan dunia komputasi. Ia lahir

dari kebutuhan untuk mengolah data genomik yang dihasilkan oleh proyek-proyek sekuensing DNA berskala besar pada akhir abad ke-20. Namun, ruang lingkup bioinformatika kini jauh melampaui sekadar analisis urutan DNA. Bioinformatika modern mencakup pemodelan struktur protein, analisis jalur metabolisme, simulasi interaksi antara obat dan target molekulnya, hingga prediksi sifat fungsional suatu senyawa berdasarkan struktur kimianya. Semua analisis ini dilakukan dengan bantuan algoritma komputer yang semakin canggih, dan hasilnya dapat dimanfaatkan secara langsung dalam proses pengembangan produk berbasis biologi.

Dalam pemanfaatan konteks bioentrepreneurship, bioinformatika dapat memperpendek secara dramatis waktu yang dibutuhkan untuk menemukan dan mengembangkan produk baru. Bayangkan seorang wirausahawan yang ingin mengembangkan produk enzim baru untuk keperluan industri pangan. Tanpa bioinformatika, ia harus melalui proses panjang yang mencakup pengumpulan sampel lingkungan, isolasi mikroorganisme, skrining aktivitas enzim satu per satu, dan pengujian sifat biokimia secara manual. Proses ini dapat memakan waktu bertahun-tahun. Dengan bioinformatika, ia dapat terlebih dahulu menganalisis basis data genomik yang sudah tersedia secara publik untuk mengidentifikasi gen-gen yang berpotensi mengkode enzim dengan sifat yang diinginkan, melakukan simulasi komputer untuk memprediksi struktur dan aktivitas enzim yang dihasilkan oleh gen tersebut, dan baru kemudian

melakukan sintesis dan pengujian laboratorium hanya untuk kandidat-kandidat enzim yang paling menjanjikan berdasarkan analisis komputasi. Pendekatan ini tidak hanya menghemat waktu, tetapi juga menghemat sumber daya secara signifikan.

Kecerdasan buatan mengambil peran yang semakin sentral dalam percepatan penemuan produk hayati, terutama melalui penerapan teknik pembelajaran mesin. Algoritma pembelajaran mesin dapat dilatih menggunakan data dari ribuan senyawa yang sudah diketahui sifat biologisnya, sehingga ia mampu memprediksi aktivitas biologis dari senyawa-senyawa baru yang belum pernah diuji. Dalam industri obat-obatan, teknik ini telah berhasil mengidentifikasi kandidat senyawa aktif dalam waktu yang jauh lebih singkat dibandingkan metode konvensional. Prinsip yang sama dapat diterapkan dalam pengembangan produk pangan fungsional, suplemen herbal, atau bahan aktif kosmetik berbasis alam.

Teknologi data raya juga membuka peluang baru dalam hal pemahaman pasar dan perilaku konsumen produk berbasis biologi. Platform belanja digital menghasilkan data yang sangat kaya tentang preferensi, kebiasaan pembelian, dan respons konsumen terhadap berbagai klaim produk. Wirausahawan yang mampu menganalisis data ini secara cerdas dapat merancang produk yang lebih tepat sasaran, strategi pemasaran yang lebih efisien, dan pengalaman pelanggan yang lebih personal. Di sisi rantai pasokan,

teknologi sensor dan analitik data dapat digunakan untuk memantau kondisi bahan baku biologis secara real-time, memprediksi ketersediaan bahan baku berdasarkan data cuaca dan kondisi pertanian, serta mengoptimalkan jadwal produksi untuk meminimalkan pemborosan.

Salah satu perkembangan paling menarik dalam digitalisasi bio-bisnis adalah munculnya platform berbasis kecerdasan buatan yang memungkinkan wirausahawan dengan latar belakang biologi untuk mengakses kemampuan komputasi tingkat tinggi tanpa harus menjadi ahli pemrograman. Platform-platform semacam ini menyediakan antarmuka yang ramah pengguna, di mana data biologis dapat diunggah dan dianalisis menggunakan algoritma yang sudah dioptimalkan, dan hasilnya disajikan dalam format yang Demokratisasi mudah akses diinterpretasikan. terhadap teknologi kecerdasan buatan ini membuka pintu bagi gelombang baru wirausahawan biologi yang dapat memanfaatkan kekuatan komputasi mutakhir tanpa hambatan teknis yang berlebihan.

Bagi mahasiswa pendidikan biologi yang ingin mempersiapkan diri untuk masa depan bioentrepreneurship yang semakin digital, langkah pertama yang perlu diambil adalah membangun pemahaman dasar tentang konsep-konsep utama dalam analisis data dan kecerdasan buatan, meskipun tidak harus sampai pada tingkat pemrograman Kemampuan untuk yang mendalam. membaca dan menginterpretasikan hasil analisis bioinformatika,

memahami prinsip kerja algoritma pembelajaran mesin, dan memanfaatkan platform digital untuk analisis data bisnis adalah kompetensi yang semakin bernilai dan semakin dibutuhkan dalam ekosistem bio-bisnis yang terus berkembang.

B. Bioteknologi Modern dan Rekayasa Genetika

Bioteknologi modern telah mencapai titik perkembangan yang sebelumnya tidak pernah terbayangkan. Kemampuan untuk membaca, menulis, dan menyunting kode genetik organisme hidup dengan presisi yang semakin tinggi dan biaya yang semakin terjangkau telah membuka cakrawala kemungkinan yang hampir tidak terbatas dalam pengembangan produk berbasis biologi. Penyuntingan gen menggunakan teknologi terbaru yang memungkinkan modifikasi urutan DNA pada posisi yang sangat spesifik tanpa meninggalkan jejak genetik asing adalah salah satu contoh paling dramatis dari revolusi bioteknologi yang sedang berlangsung. Teknologi ini tidak hanya mengubah cara ilmuwan melakukan riset dasar, tetapi juga sedang mengubah secara mendasar cara produk-produk berbasis biologi dikembangkan dan dipasarkan.

Potensi ekonomi dari komersialisasi organisme hasil rekayasa sangat besar. Di sektor pertanian, tanaman hasil rekayasa genetika yang memiliki ketahanan terhadap hama, penyakit, atau kondisi iklim yang tidak menguntungkan dapat meningkatkan produktivitas pertanian secara

signifikan dan mengurangi kerugian panen. Di sektor industri, mikroorganisme yang direkayasa untuk menghasilkan senyawa tertentu dengan efisiensi yang sangat tinggi telah menjadi tulang punggung industri farmasi, kimia, dan bahan bakar hayati. Di sektor kesehatan, terapi berbasis pengeditan gen membuka harapan bagi pengobatan penyakit-penyakit genetik yang selama ini dianggap tidak dapat disembuhkan.

Namun, pengembangan dan komersialisasi organisme hasil rekayasa genetika tidak terlepas dari berbagai batasan etika yang harus dipertimbangkan secara serius. Pertanyaan tentang keamanan jangka panjang organisme hasil rekayasa bagi ekosistem, potensi penyebaran gen hasil rekayasa ke populasi liar melalui aliran gen, serta kekhawatiran tentang monopoli korporasi atas benih dan sumber daya genetik merupakan isu-isu yang terus diperdebatkan oleh komunitas ilmiah, pembuat kebijakan, dan masyarakat luas. Wirausahawan yang bergerak di bidang bioteknologi modern perlu memiliki pemahaman yang mendalam tentang isu-isu etika ini bukan hanya untuk memenuhi kewajiban regulasi, tetapi juga karena kepercayaan publik adalah aset bisnis yang sangat berharga dan rapuh.

Regulasi terhadap produk berbasis rekayasa genetika di Indonesia masih dalam tahap perkembangan dan penyesuaian dengan perkembangan teknologi yang sangat cepat. Di satu sisi, regulasi yang ketat diperlukan untuk

memastikan keamanan produk dan melindungi kepentingan masyarakat. Di sisi lain, regulasi yang terlalu kaku dapat menghambat inovasi dan membuat Indonesia tertinggal dalam kompetisi global di bidang bioteknologi. Menavigasi lanskap regulasi yang kompleks ini adalah salah satu tantangan sekaligus kompetensi yang perlu dimiliki oleh wirausahawan modern di bidang bioteknologi.

Salah satu pendekatan yang semakin populer dalam bioteknologi modern adalah penggunaan platform sel hidup sebagai pabrik biologis untuk menghasilkan berbagai senyawa yang bernilai tinggi. Bakteri, ragi, alga, dan sel-sel tanaman semuanya dapat direkayasa untuk menghasilkan protein, enzim, pigmen, asam lemak, atau senyawa bioaktif lainnya dengan efisiensi yang jauh melampaui kemampuan organisme alaminya. Pendekatan ini, yang dikenal dengan istilah biologi sintetik, memungkinkan desain sistem biologis yang baru secara fundamental menggunakan prinsip-prinsip rekayasa. Bagi wirausahawan yang memiliki visi jauh ke depan, biologi sintetik menawarkan kemungkinan untuk merancang organisme yang dioptimalkan secara khusus untuk kebutuhan produksi mereka, jauh melampaui apa yang dapat dicapai melalui proses seleksi dan pemuliaan konvensional.

Penting untuk digarisbawahi bahwa tidak semua inovasi dalam bioteknologi modern harus melibatkan rekayasa genetika dalam pengertian yang kontroversial. Banyak perkembangan teknologi yang dapat dimanfaatkan

untuk meningkatkan nilai produk berbasis biologi tanpa menyentuh material genetik organisme secara langsung. Teknologi fermentasi presisi, penggunaan enzim yang dimurnikan untuk katalisis reaksi kimia yang spesifik, dan teknik enkapsulasi biomolekul untuk meningkatkan stabilitas dan ketersediaan biologis senyawa aktif semuanya merupakan contoh aplikasi bioteknologi modern yang memiliki potensi komersial besar dan umumnya tidak menghadapi hambatan regulasi dan penerimaan publik yang seberat produk-produk langsung rekayasa genetika

C. Bioentrepreneurship dalam Mitigasi Krisis Iklim

Perubahan iklim adalah krisis paling menentukan yang dihadapi peradaban manusia pada abad ini. Dampaknya terhadap sistem pangan, kesehatan masyarakat, ketersediaan air bersih, dan stabilitas ekosistem sudah mulai dirasakan di berbagai belahan dunia, dan tingkat keparahannya diperkirakan akan terus meningkat apabila emisi gas rumah kaca tidak dapat dikurangi secara dramatis dalam beberapa dekade mendatang. Di tengah tantangan yang masif ini, bioentrepreneurship muncul sebagai salah satu kekuatan yang paling menjanjikan dalam gerakan global menuju ekonomi yang lebih hijau dan berkelanjutan. Bisnis berbasis biologi memiliki keunggulan inheren dalam konteks mitigasi krisis iklim karena organisme hidup pada dasarnya beroperasi menggunakan sumber energi yang dapat diperbaharui dan menghasilkan produk-produk yang umumnya dapat terurai secara alami.

Ekonomi karbon adalah kerangka kebijakan dan pasar yang dibangun di sekitar upaya untuk memberikan nilai finansial terhadap kemampuan untuk menyerap atau mengurangi emisi karbon dioksida ke atmosfer. Dalam kerangka ini, hutan yang lestari, lahan gambut yang terjaga, dan berbagai ekosistem alami lainnya memiliki nilai ekonomi yang dapat diquantifikasi melalui mekanisme kredit karbon. Wirausahawan yang bergerak dalam konservasi dan restorasi ekosistem, pengembangan sistem pertanian yang menyimpan karbon di dalam tanah, atau produksi bahan bakar hayati yang menggantikan bahan bakar fosil semuanya berpotensi untuk menghasilkan kredit karbon yang dapat diperdagangkan di pasar karbon nasional maupun internasional.

Pertanian regeneratif adalah salah satu praktik agrikultur yang sedang mendapat perhatian sangat besar dalam konteks mitigasi krisis iklim. konvensional Berbeda yang dengan pertanian cenderung menguras kandungan organik tanah dari waktu ke waktu, pertanian regeneratif dirancang untuk memulihkan dan meningkatkan kesehatan tanah sambil tetap menghasilkan pangan dalam jumlah yang mencukupi. Praktik-praktik seperti penanaman tanaman penutup tanah, rotasi tanaman yang beragam, penggunaan kompos dan pupuk hayati, serta minimalisasi pengolahan tanah semuanya berkontribusi pada peningkatan kandungan karbon organik dalam tanah. Wirausahawan yang menyediakan produk dan layanan pendukung pertanian regeneratif, mulai dari pupuk hayati yang meningkatkan

aktivitas biologi tanah hingga platform digital yang membantu petani memantau dan mengoptimalkan praktik pertanian mereka, berada di posisi yang sangat strategis dalam ekonomi karbon yang terus berkembang.

Penggantian bahan-bahan berbasis petrokimia dengan padanannya yang berbasis biologi merupakan peluang bisnis lain yang sangat besar dalam konteks mitigasi krisis iklim. Plastik berbasis tanaman yang dapat terurai secara alami, pelumas berbasis minyak nabati yang menggantikan pelumas mineral, serat tekstil berbasis selulosa yang menggantikan serat sintetis berbasis minyak bumi, serta berbagai bahan kimia industri yang diproduksi melalui fermentasi daripada sintesis kimiawi semuanya merupakan contoh produk bio-berbasis yang sedang mengalami pertumbuhan pasar yang sangat pesat. Indonesia, dengan kekayaan sumber daya hayati tropis yang dimilikinya, memiliki keunggulan komparatif yang signifikan dalam produksi bahan baku untuk kategori-kategori produk ini.

Adaptasi terhadap perubahan iklim juga membuka peluang bisnis yang tidak kalah besarnya dibandingkan mitigasi. Ketika kondisi iklim berubah, pertanian di banyak wilayah menghadapi tekanan yang semakin berat berupa perubahan pola curah hujan, peningkatan frekuensi kejadian cuaca ekstrem, dan pergeseran zona kesesuaian iklim untuk berbagai komoditas pertanian. Pengembangan varietas tanaman yang tahan terhadap kondisi kekeringan, genangan

air, atau suhu tinggi merupakan kebutuhan yang sangat mendesak. Begitu pula dengan pengembangan sistem pengelolaan air dan nutrisi tanaman yang lebih efisien dalam kondisi iklim yang semakin tidak menentu. Wirausahawan yang mampu menghasilkan solusi-solusi adaptasi berbasis biologi ini akan memiliki pasar yang terus bertumbuh seiring dengan semakin nyata dampak perubahan iklim di berbagai wilayah Indonesia.

Keberlanjutan global tidak dapat dicapai tanpa perubahan fundamental dalam cara kita memproduksi dan mengonsumsi produk. Bioentrepreneurship menawarkan jalur menuju sistem produksi yang lebih selaras dengan kapasitas alam untuk pulih dan berkembang. Wirausahawan yang membangun bisnis mereka di atas prinsip-prinsip sirkularitas, yaitu memaksimalkan pemanfaatan sumber daya dan meminimalkan pembuangan limbah, tidak hanya berkontribusi terhadap keberlanjutan lingkungan tetapi juga membangun model bisnis yang secara inheren lebih tangguh terhadap fluktuasi harga bahan baku dan semakin ketat regulasi lingkungan yang berlaku di pasar-pasar global.

D. Personalisasi Produk Berbasis Bio-Sains

Salah satu tren paling menarik dan transformatif dalam bioentrepreneurship masa depan adalah pergeseran dari model produksi massal yang seragam menuju model produksi yang sangat personal dan disesuaikan dengan profil biologis setiap individu. Tren ini lahir dari kemajuan pesat

dalam pemahaman tentang bagaimana perbedaan genetik, komposisi mikrobioma usus, status metabolisme, dan berbagai faktor biologis lainnya pada setiap individu mempengaruhi respons mereka terhadap makanan, obat-obatan, suplemen, dan berbagai intervensi kesehatan lainnya. Prinsip yang mendasari tren ini sangat sederhana namun sangat kuat: apa yang bekerja dengan baik untuk satu orang belum tentu memberikan hasil yang sama pada orang lain, dan memahami perbedaan biologis antar individu adalah kunci untuk memberikan solusi yang benar-benar efektif.

Bio-ekonomi presisi adalah istilah yang merangkum visi dari era bioentrepreneurship yang sepenuhnya personal ini. Dalam bio-ekonomi presisi, produk-produk yang dikembangkan bukan lagi dirancang untuk konsumen rata-rata yang tidak pernah benar-benar ada, melainkan dirancang untuk memenuhi kebutuhan spesifik individu berdasarkan analisis data biologis mereka. Ini mencakup pangan fungsional yang diformulasikan berdasarkan profil genomik dan mikrobioma seseorang, suplemen nutrisi yang dosisnya disesuaikan dengan kebutuhan metabolisme individu, program olahraga dan diet yang dirancang berdasarkan analisis data dari sensor kesehatan yang dikenakan sepanjang hari, hingga produk perawatan kulit yang diformulasikan berdasarkan analisis mendalam tentang komposisi dan kondisi kulit seseorang.

Pengujian mikrobioma adalah salah satu layanan dalam ekosistem bio-ekonomi presisi yang sudah mulai

berkembang di berbagai negara dan menawarkan peluang yang sangat besar bagi bioentrepreneurship di Indonesia. Mikrobioma usus, yang merupakan komunitas triliunan mikroorganisme yang hidup di dalam saluran pencernaan setiap manusia, memiliki pengaruh yang sangat besar terhadap berbagai aspek kesehatan, mulai dari efisiensi pencernaan dan penyerapan nutrisi, hingga fungsi sistem kekebalan tubuh dan bahkan kesehatan mental. Dengan mengetahui komposisi mikrobioma seseorang, adalah mungkin untuk memberikan rekomendasi diet yang sangat spesifik dan terarah guna mengoptimalkan kesehatan mikrobioma tersebut dan melaluinya, meningkatkan kualitas kesehatan secara menyeluruh.

Wearable technology atau teknologi yang dapat dikenakan adalah komponen lain yang mendukung perkembangan bio-ekonomi presisi. Perangkat-perangkat seperti jam tangan pintar yang dapat memantau detak jantung, kadar oksigen darah, dan pola tidur, hingga sensor glukosa berkelanjutan yang memantau kadar gula darah secara real-time tanpa perlu tusukan jarum, semuanya menghasilkan aliran data biologis yang kaya tentang kondisi tubuh seseorang sepanjang waktu. Data ini, apabila dianalisis dengan algoritma yang tepat, dapat menghasilkan wawasan yang sangat berharga tentang bagaimana tubuh seseorang merespons berbagai jenis makanan, tingkat aktivitas fisik, dan faktor-faktor lingkungan lainnya. Wirausahawan yang mampu mengintegrasikan data dari berbagai sumber ini dengan pengetahuan biologi yang mendalam untuk

menghasilkan rekomendasi produk yang benar benar personal memiliki peluang yang sangat besar dalam pasar yang terus berkembang ini.

Tantangan terbesar dalam pengembangan bisnis berbasis bio-ekonomi presisi adalah pengelolaan data biologis yang sangat sensitif secara etis dan hukum. Data genomik seseorang, komposisi mikrobioma, dan data kesehatan lainnya adalah informasi yang sangat pribadi dan dapat disalahgunakan apabila tidak dikelola dengan standar keamanan dan privasi yang ketat. Di berbagai negara, regulasi tentang perlindungan data kesehatan pribadi semakin diperketat, dan wirausahawan yang bergerak di bidang ini harus memastikan bahwa sistem mereka mematuhi semua regulasi yang berlaku. Kepercayaan pengguna adalah fondasi utama bisnis berbasis data biologis, dan kepercayaan itu hanya dapat dibangun melalui transparansi, keamanan data yang tidak kompromi, dan komunikasi yang jelas kepada pengguna tentang bagaimana data mereka digunakan.

Aksesibilitas adalah isu lain yang perlu menjadi perhatian dalam pengembangan bio ekonomi presisi. Saat ini, layanan-layanan seperti pengujian genomik atau analisis mikrobioma masih tergolong mahal dan hanya dapat dijangkau oleh segmen masyarakat dengan daya beli tinggi. Apabila bio-ekonomi presisi hanya dapat dinikmati oleh segelintir orang yang mampu secara finansial, ketidaksetaraan akses akan memperparah terhadap

layanan kesehatan yang berkualitas. Oleh karena itu, inovasi dalam bio-ekonomi presisi tidak hanya harus berfokus pada peningkatan kemampuan teknologi, tetapi juga pada pengurangan biaya dan penyederhanaan proses agar layanan-layanan ini dapat semakin terjangkau oleh masyarakat yang lebih luas. Di sinilah peran penting wirausahawan sosial yang mengombinasikan visi keberlanjutan bisnis dengan komitmen terhadap keadilan akses.

Masa depan bioentrepreneurship adalah masa depan yang sangat menjanjikan bagi mereka yang berani mempersiapkan diri dengan sungguh sungguh. Konvergensi antara ilmu biologi, teknologi digital, kesadaran lingkungan yang semakin meningkat, dan tren personalisasi produk sedang menciptakan gelombang peluang bisnis yang belum pernah ada sebelumnya dalam skala dan variasinya. Indonesia, dengan kekayaan biodiversitas yang luar biasa, populasi yang besar dan muda, serta pasar yang terus berkembang, memiliki semua prasyarat untuk menjadi pemain utama dalam ekosistem bioentrepreneurship global. Yang dibutuhkan adalah generasi wirausahawan muda yang memiliki pengetahuan ilmiah yang kuat, mentalitas inovatif yang tidak takut gagal, komitmen terhadap etika dan keberlanjutan, serta visi yang cukup jauh ke depan untuk melihat dan memanfaatkan peluang yang sedang terbentuk di cakrawala masa depan. Pendidikan biologi yang berbasis pada nilai-nilai kewirausahaan adalah investasi terpenting yang dapat dilakukan bangsa ini untuk memastikan bahwa

generasi tersebut dapat lahir, tumbuh, dan memberikan dampak yang bermakna bagi kemajuan Indonesia dan kesejahteraan umat manusia secara keseluruhan.

DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, Z., & Rohman, M. (2020). Pemberdayaan kelompok tani dalam pembuatan pupuk organik berbahan baku limbah rumah tangga. *Community Development Journal*, 1(2), 89-94.
- Amanah, S., & Mutmainah, R. (2021). Bioentrepreneurship dalam pengembangan inovasi produk hayati. Jakarta: Prenadamedia Group.
- Arifianto,D.,Qurrota,A.,& Murwanti,R. (2021). Pemanfaatan Limbah Tahu Untuk Bahan Baku Kerupuk Sebagai Upaya Peningkatan Perekonomian Masyarakat. *Jurnal Pengabdian Masyarakat Ipteks*,7(1).58-67.
- Awar, A., Nadila, L., & Sartika, D. (2020). Bioteknologi pangan. Universitas Terbuka.
- Ernawati, Heryanti, E., & Mentari, N. T. (2017). Hubungan self efficacy dengan motivasi siswa dalam berwirausaha berbasis biologi. *BIOSFER: Jurnal Pendidikan Biologi*, 10(1), 50–57. ISSN 0853-2451.
- Famulaqih, S., & Lukman, A. (2024). Pengembangan bahan ajar modul pembelajaran. *Jurnal Riset Ilmu Pendidikan Islam*, 1(2), 1-12.

- Gaffar, A. A., Sugandi, M. K., Mu'minah, I. H., Suryaningsih, Y., & Sugiharti, S. (2022). Peningkatan kemampuan bioentrepreneurship kelompok tani melalui pelatihan bonjika (abon biji nangka). *BERNAS: Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, 3(2), 243-248.
- Hidayat, N., & Triyana, D. (2020). Fermentasi pangan lokal sebagai peluang bioentrepreneurship mahasiswa. *Jurnal Teknologi Pangan*, 14(2), 112–121.
- Husni, R. (2023). Penerapan pembelajaran berbasis bioentrepreneurship pada pembelajaran biologi untuk meningkatkan hasil belajar, minat berwirausaha, kreativitas, motivasi, dan life skill siswa. *Bionatural*, 10(2), 12-22.
- Husni, R. (2023). Penerapan pembelajaran berbasis bioentrepreneurship pada pembelajaran biologi untuk meningkatkan hasil belajar, minat berwirausaha, kreativitas, motivasi, dan life skill siswa. *Bionatural*, 10(2), 12–22.
- Irawati, H., & Saifuddin, M. F. (2018). Analisis kebutuhan pengembangan bahan ajar mata kuliah pengantar profesi guru biologi di pendidikan biologi Universitas Ahmad Dahlan Yogyakarta. *BIO-*

- PEDAGOGI: Jurnal Pembelajaran Biologi, 7(2), 96-99.
- Kumar, A., & Sharma, S. (2018). Biofuel production from agricultural waste: An overview. *Renewable Energy Review*, 45(3), 145–156.
- Kusniawati, E., Dian, K. S., & Indah, P. (2020). Pelatihan pembuatan Nata De Coco Di Kelurahan Mariana Ilir Kabupaten Banyuasin. *Seminar Nasional Avoer*, 12 (November), 18-19.
- Lutfi, Amir, N. A., Irfan, M., Sahabuddin, R., & Zahir, A. (2024). Internalization of entrepreneurial character in biology Learning through environmental approach. *Journal of Biology Education*, 5(2), 90–96. <https://doi.org/10.31332/kd.v5i2.10266>
- Mudjiarto, S. (2019). Pupuk organik dan biopestisida dalam pertanian berkelanjutan. *Agrikultura*, 20(1), 55–63.
- Prihatiningrum, P., Mulyani, S., Susilowati, E. S., & Prasetyo, A. P. bioentrepreneurship B. (2020). Effect of on biology Learning achievement, creativity, and entrepreneurial interest. *Journal of Innovative Science Education*, 9(3), 250–259.
- Putra, R. W., Yatno, L. D. D., & Kurniawan, M. (2024). Buku ajar kewirausahaan. PT Media Penerbit Indonesia.
- Sari, D. P., & Pratiwi, A. (2021). Pemanfaatan herbal sebagai

produk kesehatan alami. Jurnal Biologi Tropis, 7(2), 98–106.

Suanda, I. W. (2019). Pengembangan biologi inovatif dan kreatif berbasis fermentasi menuju pendidikan bioentrepreneurship. Denpasar: Universitas PGRI Mahadewa Indonesia.
<https://doi.org/10.5281/zenodo.7124118>

Suanda, I. W. (2022). Pengembangan biologi inovatif dan kreatif berbasis fermentasi menuju pendidikan bioentrepreneurship. Prosiding/Artikel Ilmiah, Universitas PGRI Mahadewa Indonesia.
<https://doi.org/10.5281/zenodo.7124118>

Yuliani, P., & Fajar, B. (2021). Pengembangan bioetanol dari biomassa lokal. Jurnal Energi Terbarukan, 9(4), 201–210.

PROFIL PENULIS



Mazlila lahir di Negeri Lama pada 10 Oktober 2003 dan berasal dari Kabupaten Labuhanbatu, Provinsi Sumatera Utara. Saat ini, penulis menempuh pendidikan pada Program Studi Pendidikan Biologi, Universitas Labuhanbatu sejak tahun

2022. Sejak awal masa studi, penulis menunjukkan minat yang kuat dalam pengembangan inovasi pembelajaran, khususnya pada bidang bioentrepreneurship. Ketertarikan ini dilandasi oleh keinginan untuk mengintegrasikan konsep biologi dengan dunia kewirausahaan, sehingga tercipta proses pembelajaran yang lebih aplikatif, kreatif, dan relevan dengan tuntutan perkembangan zaman. Buku ini diharapkan dapat menjadi referensi bagi mahasiswa, pendidik, serta praktisi pendidikan dalam mengembangkan model pembelajaran yang inovatif, produktif, dan berorientasi pada kebutuhan industri kreatif berbasis biologi.



Rahmi Nazliah, lahir di Hasang pada 15 Juli 1988. Penulis merupakan akademisi yang memiliki latar belakang pendidikan di bidang biologi dan administrasi pendidikan. Ia menyelesaikan pendidikan sarjana (S-1) pada Jurusan Pendidikan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA), Universitas Negeri Medan pada tahun 2006–2011. Selanjutnya, penulis melanjutkan studi magister (S-2) pada Program Studi Administrasi Pendidikan di universitas yang sama dan berhasil menyelesaikannya pada tahun 2014. Penulis menikah dengan Khairul Azhar, S.Pd.I., M.Pd. pada 1 November 2014, dan telah dikaruniai seorang anak bernama Puan Nayla Azhar Br. Ritonga. Keseimbangan antara peran keluarga dan profesional menjadi bagian penting dalam perjalanan hidup penulis sebagai pendidik. Karier profesional Rahmi Nazliah dimulai sebagai guru pada tahun 2011 di SMP Swasta Sutan Oloan Medan. Pengalaman mengajar kemudian berlanjut di berbagai institusi pendidikan, di antaranya SMA Swasta Sultan Hasanuddin Aekkanopan (2016–2018) dan SMK PP Pertanian (2016–2018), serta keterlibatan dalam berbagai lembaga bimbingan belajar. Sejak tahun 2015, penulis mengembangkan karier akademiknya sebagai dosen di Universitas Labuhanbatu dan terus aktif hingga saat ini. Selain menjalankan tugas sebagai tenaga pengajar di perguruan tinggi, penulis juga terlibat

dalam berbagai kegiatan profesional untuk 89 Profil Penulis meningkatkan kualitas pendidikan, di antaranya sebagai Asesor Pendidikan Profesi Guru (PPG) Prajabatan sejak tahun 2022 hingga sekarang, serta sebagai dosen dalam program Pendidikan Profesi Guru (PPG) dalam jabatan. Berbagai pengalaman tersebut memperkuat kompetensi penulis dalam bidang pendidikan, khususnya dalam pengembangan tenaga pendidik yang profesional dan berdaya saing.



Ika Chastanti, lahir di Aek Pamingke pada 20 Oktober 1986. Penulis merupakan akademisi di bidang pendidikan biologi yang memiliki komitmen tinggi terhadap pengembangan ilmu pengetahuan, penelitian, dan publikasi ilmiah. Pendidikan sarjana (S-1) ditempuh di Universitas Sumatera Utara

sejak tahun 2004, kemudian melanjutkan pendidikan magister (S-2) di Universitas Negeri Medan pada tahun 2012. Saat ini, penulis tengah melanjutkan studi doctoral di Universitas Muhammadiyah Malang sebagai bagian dari upaya penguatan kompetensi akademik dan kontribusi keilmuan. Karier profesional penulis dimulai sebagai dosen pada tahun 2014 di Program Studi Pendidikan Biologi (S-1), Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan (FKIP) Universitas Labuhanbatu. Sejak itu, penulis aktif dalam kegiatan tridarma perguruan tinggi, meliputi pendidikan, penelitian, dan pengabdian kepada masyarakat. Dalam bidang penelitian dan pengabdian, penulis pernah memperoleh Hibah Penelitian Dosen Pemula pada tahun pendanaan 2018 dan 2019, serta Hibah Pengabdian kepada Masyarakat pada tahun 2019. Selain itu, pada tahun 2022 penulis terpilih sebagai peserta Program Magang Dosen Perguruan Tinggi

(MDPT), yang semakin memperkaya pengalaman akademik dan jejaring profesional. Di bidang publikasi ilmiah, penulis aktif berkontribusi sebagai Editor in Chief pada jurnal 91 Profil Penulis nasional terakreditasi serta terlibat dalam pengelolaan jurnal internasional. Keterlibatan ini menunjukkan komitmen penulis dalam meningkatkan kualitas publikasi ilmiah serta mendukung pengembangan budaya akademik yang unggul dan berdaya saing global.

Buku Ini hadir sebagai upaya untuk mengintegrasikan konsep kewirausahaan dengan ilmu biologi, yang dikenal dengan istilah *bioentrepreneurship*. Dalam konteks pendidikan tinggi di Indonesia, buku ini bertujuan untuk mengajak mahasiswa biologi tidak hanya memahami teori ilmiah, tetapi juga mengaplikasikan pengetahuan mereka dalam kehidupan nyata untuk inovasi teknologi dan produk yang bernilai ekonomi. Bioentrepreneurship menjadi konsep yang sangat relevan dengan pesatnya perkembangan biologi dan bioteknologi, serta kebutuhan akan solusi ramah lingkungan yang semakin mendesak.

Melalui buku ini, penulis berusaha menyajikan materi yang aplikatif dan berbasis pada pengembangan keterampilan kewirausahaan yang dapat diterapkan dalam bidang biologi. Buku ini membahas berbagai topik, mulai dari pengolahan limbah menjadi produk bernilai ekonomis hingga pemanfaatan bioteknologi dalam kesehatan dan pertanian. Setiap bab dirancang untuk membantu mahasiswa mengembangkan ide-ide kreatif dan inovatif yang tidak hanya meningkatkan pemahaman mereka tentang sains, tetapi juga membekali mereka dengan keterampilan untuk berwirausaha.

Diharapkan buku ini dapat menjadi referensi penting bagi mahasiswa, terutama dalam mempersiapkan diri memasuki dunia kerja atau bahkan menciptakan peluang

usaha dibidang biologi. Buku ini juga diharapkan dapat berkontribusi pada pengembangan ekonomi berkelanjutan di Indonesia dan mendukung pengajaran *bioenterpreneurship* di perguruan tinggi.

