

BIOTEKNOLOGI DI INDONESIA:

POTENSI DAN TANTANGAN



Nadia Andhini, S.Pi., M.Si.
Anggraini Putri Utami, S.Si., M.Si.
Irfan Anwar Fauzan, S.Si., M.Si.
Arina Amalia Putri, S.Si., M.Si.
Maulidi Firlandiana, S.T., M.Si.

BIOTEKNOLOGI DI INDONESIA: POTENSI DAN TANTANGAN

PENULIS:

**NADIA ANDHINI, S.Pi., M.Si.
ANGGRAINI PUTRI UTAMI, S.Si., M.Si.
IRFAN ANWAR FAUZAN, S.Si., M.Si.
ARINA AMALIA PUTRI, S.Si., M.Si.
MAULIDI FIRLANDIANA, S.T., M.Si.**



GET PRESS INDONESIA

Bioteknologi di Indonesia: Potensi dan Tantangan

Penulis:

Nadia Andhini, S.Pi., M.Si.
Anggraini Putri Utami, S.Si., M.Si.
Irfan Anwar Fauzan, S.Si., M.Si.
Arina Amalia Putri, S.Si., M.Si.
Maulidi Firlandiana, S.T., M.Si.

ISBN : 978-623-125-582-2

Editor : Dr. Oktavianis, M.Biomed.

Desain Sampul dan Tata Letak : Tri Putri Wahyuni, S.Pd.

Penerbit: GET PRESS INDONESIA

Anggota IKAPI No. 033/SBA/2022

Redaksi:

Jl. Pasir Sebelah No. 30 RT 002 RW 001
Kelurahan Pasie Nan Tigo Kecamatan Koto Tengah
Padang Sumatera Barat
Website: www.getpress.co.id
Email: adm.getpress@gmail.com

Cetakan pertama, Januari 2025

Hak cipta dilindungi undang-undang
Dilarang memperbanyak karya tulis ini dalam bentuk
dan dengan cara apapun tanpa izin tertulis dari penerbit.

KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan puji syukur kehadiran Allah SWT, atas limpahan rahmat dan hidayahNya, maka Penulisan Buku dengan judul Bioteknologi di Indonesia: Potensi dan Tantangan dapat diselesaikan. Buku ini berisikan bahasan tentang Bioteknologi kesehatan, Bioteknologi Perikanan dan Kelautan, Bioteknologi Lingkungan, Bioteknologi Industri, dan Bioteknologi Pertanian.

Buku ini masih banyak kekurangan dalam penyusunannya. Oleh karena itu, kami sangat mengharapkan kritik dan saran demi perbaikan dan kesempurnaan buku ini selanjutnya. Kami mengucapkan terima kasih kepada berbagai pihak yang telah membantu dalam proses penyelesaian Buku ini. Semoga Buku ini dapat menjadi sumber referensi dan literatur yang mudah dipahami.

Padang, Desember 2024

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI.....	ii
DAFTAR TABEL.....	vii
BAB I BIOTEKNOLOGI KESEHATAN	1
1.1 Pendahuluan.....	1
1.2 Penerapan Bioteknologi dalam Diagnostik Penyakit.....	5
1.2.1 Penggunaan Tes Genetik untuk Mendiagnosis Penyakit.....	7
1.2.2 Penggunaan Biomarker dalam Deteksi Dini Penyakit.....	9
1.3. Pengembangan Vaksin dan Obat-Obatan	11
1.3.1 Pengembangan Vaksin	11
1.3.2 Vaksin Hidup dan Non Hidup	13
1.3.4 Pengembangan Obat-Obatan	18
1.3.5 Peran Genomik dalam Penemuan Obat.....	19
1.3.6 Pendekatan Proteomik dalam Penemuan Obat Bioteknologi.....	20
DAFTAR PUSTAKA.....	23
BAB 2 BIOTEKNOLOGI KELAUTAN DAN PERIKANAN ..	25
2.1 Pendahuluan.....	25
2.2 Akuakultur	27
2.2.1 Pemuliaan Selektif	28
2.2.2 Rekayasa Genetik	30
2.2.3 Pengembangan Pakan Berbasis Bioteknologi....	33
2.2.4 Pengendalian Penyakit.....	35
2.2.5 Bioteknologi Akuakultur Berbasis Lingkungan	36
2.2.5 Pemanfaatan Mikroalga.....	38
2.3 Konservasi Sumber Daya Laut	39

2.3.1 Bioremediasi.....	40
2.3.2 Pelestarian Keanekaragaman Hayati.....	41
2.3.3 Konservasi Genetik.....	43
2.4 Bioprospeksi dan Pengolahan Produk Laut.....	43
2.4.1 Eksplorasi Senyawa Bioaktif.....	44
2.4.2 Teknologi Genetik dan Molekuler.....	44
2.4.3 Produksi Obat dan Bahan Medis	45
2.4.4 Aplikasi Kosmetik.....	46
2.4.5 Industri Bioteknologi.....	46
2.4.6 Pengembangan Biofuel.....	47
2.4.7 Pengembangan Produk Fermentasi.....	47
2.4.8 Pengolahan Limbah dan Pemanfaatan Produk Sampingan.....	47
2.4.9 Produksi Biofilm dan Bioplastik.....	48
DAFTAR PUSTAKA.....	49
BAB 3 BIOTEKNOLOGI LINGKUNGAN DI INDONESIA	
: POTENSI & TANTANGAN	52
3.1 Pendahuluan.....	52
3.2 Biomarker.....	55
3.3 Biosensor	58
3.4 Biokonversi dan Bioenergi	61
3.5 Bioremediasi.....	64
DAFTAR PUSTAKA.....	68
BAB 4 APLIKASI DAN INOVASI BIOTEKNOLOGI	
INDUSTRI DI INDONESIA.....	72
4.1 Pendahuluan.....	72
4.2 Bioetanol sebagai Sumber Bahan Bakar Alternatif..	73
4.3 Biogas	76
4.4 Enzim.....	78
4.5 Bahan Pangan dan Minuman	82
DAFTAR PUSTAKA.....	85
BAB 5 BIOTEKNOLOGI PERTANIAN DI INDONESIA:	
POTENSI DAN TANTANGAN	89
5.1 Pendahuluan.....	89
5.2 Keanekaragaman Hayati Indonesia	89

5.3. Sumber Daya Hayati yang Berpotensi di	
Indonesia	90
5.3.1. Tanaman Pangan Lokal.....	90
5.3.2 Rempah-rempah	91
5.3.3 Mikroorganisme untuk Pertanian	92
5.4 Penelitian Bioteknologi Pertanian Terbaru.....	92
5.4.1 Penerapan CRISPR dalam Pemuliaan	
Tanaman	92
5.4.2 Pemuliaan Tanaman untuk Ketahanan	
Pangan	93
5.4.3 Tanaman Transgenik untuk Ketahanan	
Terhadap Hama dan Penyakit.....	94
5.4.4 Penggunaan Mikroalga untuk Pakan Ternak	
dan Pemupukan	96
5.4.5 Bioteknologi dalam Pemanfaatan Tanaman	
untuk Energi Terbarukan.....	97
DAFTAR PUSTAKA.....	100
BIODATA PENULIS.....	103

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Edward Jenner menemukan vaksin untuk mengobati pasien cacar dengan menyuntikkan cairan dari pasien yang terinfeksi cacar sapi ke pasien yang terinfeksi cacar smallpox.....	4
Gambar 2. Berbagai jenis vaksin : (a) vaksin hidup yang dilemahkan; (b) vaksin mati; (C) vaksin subunit protein rekombinan; (d) vaksin toksoid; (e) vaksin toksin rekombinan; (f) mRNA vaksin.....	14
Gambar 3. Proteomik dalam Diagnosis Penyakit	21
Gambar 4. Keanekaragaman Hayati Laut	25
Gambar 5. Ovaprim.....	29
Gambar 6. Hibridisasi perikanan budidaya	30
Gambar 7. Hibridisasi	32
Gambar 8. Ginogenesis.....	32
Gambar 9. Produk pakan berbasis bioteknologi.....	34
Gambar 10. Probiotik untuk organisme budidaya.....	35
Gambar 11. Sistem Bioflok	37
Gambar 12. Desain kolam Bioflok.....	37
Gambar 13. Pakan Alami untuk tambak dan kolam budidaya.....	38
Gambar 14. Pohon Filogenetik Teripang dan Lobster.....	42
Gambar 15. Aplikasi Bioteknologi Lingkungan.....	54
Gambar 16. Prinsip Kerja Biosensor untuk Nanoherbisida.....	60
Gambar 17. Peluang Optimasi Mikroalga untuk Biosensor	61
Gambar 18. Pertamina Green 95 telah tersedia di beberapa SPBU di Indonesia sejak 2023	74
Gambar 19. Pembuatan BioMiru	77
Gambar 20. Petrozyme 01 sebagai produk protease pertama di Indonesia oleh PT. Petrosida-	

Gresik yang merupakan bating agent untuk mempercepat dan meningkatkan masuknya bahan kimia pada industri kulit sintetis	79
Gambar 21. Dangke sebagai hidangan utama pada acara penting di daerah Enrekang, Sulawesi Selatan (a) dan dapat disajikan dengan dipanggang (b).....	83
Gambar 22. Mekanisme Gene Editing atau CRISPR-Cas9 ..	93
Gambar 23. Skema Perakitan Varietas Padi Toleran Salinitas Menggunakan Kombinasi Metode Bulk dan Pedigree.....	94
Gambar 24. (A) Uji patogenesis P. infestans yang menunjukkan gejala penyakit busuk daun pada daun kentang Mikrografi P. infestans yang menunjukkan sporangia di bawah (B) Mikroskop cahaya dan (C) Mikroskop elektron	95
Gambar 25. Gambaran penelitian Kerentanan Awal Populasi Lapangan O. furnacalis di Indonesia terhadap Protein Cry1A.105 dan Cry2Ab2 dari B. thuringiensis	96
Gambar 26. Pertumbuhan mikroalga hijau Haematococcus pluvialis di bawah mikroskop.....	97
Gambar 27. Tandan buah nipa dan mesokarp	98
Gambar 28. Proses penyadapan nipa.....	98

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Perbedaan Bioindikator dan Biomonitoring.....	56
--	----

BAB I

BIOTEKNOLOGI KESEHATAN

Oleh Anggraini Putri Utami

1.1 Pendahuluan

Bioteknologi merupakan sebuah disiplin ilmu yang menggabungkan berbagai bidang pengetahuan yang menjadi pilar utama dalam perkembangan peradaban manusia. Sejak zaman dahulu, manusia telah memanfaatkan proses-proses alami untuk menghasilkan makanan dan minuman, seperti Mesir yang telah menggunakan ragi untuk membuat roti sejak ribuan tahun lalu. Pada beberapa dekade terakhir, bioteknologi mengalami kemajuan pesat berkat pemahaman kita yang semakin mendalam tentang makhluk hidup pada tingkat molekuler.

Melalui prinsip-prinsip biologi dan teknologi modern, bioteknologi telah melahirkan inovasi-inovasi yang mengubah dunia. Rekayasa genetika dan biologi molekuler memungkinkan kita untuk memanipulasi organisme hidup untuk menghasilkan produk dan proses yang bermanfaat. Mulai dari produksi pangan yang lebih efisien dan berkelanjutan hingga pengembangan obat-obatan baru untuk mengatasi penyakit menular, bioteknologi telah memberikan kontribusi signifikan bagi kesejahteraan manusia. Singkatnya, bioteknologi adalah sebuah bidang yang terus berkembang dan memiliki potensi yang sangat besar untuk mengatasi berbagai tantangan global. Sejak dahulu kala, hingga pada masa depan bioteknologi akan terus

menjadi kekuatan pendorong dalam kemajuan peradaban manusia.

Bioteknologi kesehatan merupakan bidang interdisiplin yang menggabungkan ilmu biologi, kimia, fisika, dan teknik. Berbagai alat dan teknik untuk mendiagnosis penyakit, mengembangkan obat-obatan baru, dan menciptakan terapi yang lebih personal telah dikembangkan oleh para ahli bioteknologi melalui pemanfaatan pemahaman mendalam tentang sistem biologis. Menjadikan pendekatan yang lebih komprehensif dalam mengatasi tantangan kesehatan global

Penemuan mesin cetak pada abad ke-15 merevolusi penyebaran pengetahuan medis. Jurnal-jurnal yang dicetak memungkinkan para ahli berbagi temuan dan berkolaborasi secara lebih efektif, mendorong kemajuan pesat dalam bidang kesehatan. Selama Abad Pertengahan, praktik pengobatan tradisional mengalami kemajuan yang signifikan dengan meningkatnya ketergantungan pada zat biologis. Obat-obatan herbal menjadi lazim, dengan dokter dan apoteker membudidayakan kebun obat untuk mendapatkan berbagai tanaman. Tanaman-tanaman ini digunakan dalam ramuan seperti balsam dan pengetahuan ini diwariskan dari generasi ke generasi. Penemuan penting lainnya juga didapatkan seperti jenis jamur tertentu dapat secara efektif mengobati infeksi misalnya, penemuan penisilin. Tanpa diketahui oleh mereka, para praktisi abad pertengahan memanfaatkan sifat penghambat bakteri dari jamur, secara efektif menggunakan bentuk perang biologis untuk melawan infeksi. Penggunaan sumber daya alam yang inovatif ini meletakkan dasar bagi bentuk antibiotik paling awal dan membuka jalan bagi banyak antibiotik modern yang ditemukan di masa depan (Hargreaves, 2023)

Pada tahun 1973, oleh Herb Boyer dan Stanley Cohen. Mereka berhasil mengembangkan teknik untuk memasukkan DNA ke dalam bakteri *E. coli*, menciptakan bakteri transgenik. Kemudian, teknologi DNA rekombinan ini digunakan untuk berhasil memasukkan gen insulin manusia ke dalam *E. coli*. *E. coli* yang direkayasa secara genetik ini mampu mensintesis insulin manusia. Berdasarkan teknik DNA rekombinan Boyer dan Cohen, Werner Arber, Daniel Nathans, dan Hamilton Smith menemukan enzim endonuklease restriksi dan menerima Hadiah Nobel Kedokteran pada tahun 1978.

Sejarah Teknologi di bidang Kedokteran dengan menggunakan material dari makhluk hidup telah dikembangkan dimulai dengan teknologi vaksin abad ke 18 sampai teknologi rekayasa genetika dan bioinformatika saat ini. Bioteknologi kesehatan telah dimulai pada tahun 1796 (abad ke 18), saat Edward Jenner menemukan vaksin untuk mengobati pasien cacar. Edward Jenner, seorang dokter dari Inggris, melihat kenyataan bahwa seorang yang telah terinfeksi cacar sapi (cowpox) tidak akan terinfeksi cacar (smallpox). Maka dia mencoba meneliti mengambil beberapa cairan dari luka penderita cacar sapi dan menggoreskan di permukaan lengan anak berusia 8 tahun, dan ternyata anak tersebut tidak menderita cacar smallpox, anak tetap sehat. Jenner menamakan cairan tersebut “vaksin”.



Gambar 1. Edward Jenner menemukan vaksin untuk mengobati pasien cacar dengan menyuntikkan cairan dari pasien yang terinfeksi cacar sapi ke pasien yang terinfeksi cacar smallpox

Beberapa tahun terakhir, pada sektor kesehatan, bioteknologi kesehatan memiliki dampak yang sangat besar. Banyak para peneliti dan juga Perusahaan bioteknologi memanfaatkan kemajuan dalam biologi molekuler, genetika, dan nanoteknologi. Mereka berhasil menciptakan inovasi-inovasi baru seperti obat-obatan yang lebih tepat sasaran, vaksin yang lebih efektif, dan alat diagnostik yang lebih akurat. Hal ini tidak hanya meningkatkan kualitas hidup pasien, tetapi juga membuka peluang baru untuk mengatasi penyakit-penyakit yang sebelumnya sulit diobati, seperti kanker dan penyakit genetik. Pandemi COVID-19 menjadi bukti nyata akan kemampuan bioteknologi dalam merespons krisis kesehatan global dengan cepat dan efektif (Liao et al., 2023)

Bioteknologi kesehatan telah mengubah cara dunia untuk memahami dan mengatasi penyakit. Pemanfaatan kemajuan dalam biologi molekuler dan genetika, sehingga para ilmuwan telah mengembangkan berbagai alat dan teknik untuk

mendiagnosis penyakit lebih dini, mengembangkan obat-obatan yang lebih efektif, dan menciptakan terapi yang lebih personal.

1.2 Penerapan Bioteknologi dalam Diagnostik Penyakit

Bioteknologi molekuler telah merevolusi bidang diagnostik penyakit, khususnya melalui teknik Polymerase Chain Reaction (PCR). PCR memungkinkan para ahli untuk mengamplifikasi atau memperbanyak segmen-segmen spesifik DNA atau RNA dari patogen. Oleh karena itu, keberadaan bahkan sejumlah kecil materi genetik patogen dapat dideteksi secara akurat dan sensitif. Keunggulan PCR terletak pada kemampuannya untuk mendeteksi patogen pada tahap awal infeksi, jauh sebelum gejala klinis muncul. Selain itu, PCR juga menawarkan tingkat spesifisitas yang tinggi, sehingga dapat membedakan antara berbagai jenis patogen yang serupa. Fleksibilitas PCR memungkinkan penerapannya pada berbagai jenis sampel biologis, mulai dari darah dan jaringan hingga cairan tubuh lainnya. PCR telah menjadi alat yang tak tergantikan dalam diagnosis berbagai penyakit menular, mulai dari infeksi virus seperti influenza dan COVID-19 hingga penyakit bakteri seperti tuberkulosis dan gonore. Kecepatan, akurasi, dan sensitivitas PCR telah meningkatkan secara signifikan kemampuan kita dalam mendiagnosis penyakit, memantau penyebaran penyakit, dan mengembangkan strategi pengobatan yang lebih efektif (Vallat, 2005).

Menurut Organisasi Kesehatan Dunia (WHO, 2023) diagnosis penyakit merupakan proses medis untuk menentukan jenis penyakit berdasarkan gejala yang dialami pasien. Berkat kemajuan bioteknologi, proses diagnosis kini semakin canggih. Penggunaan biosensor, seperti yang diteliti oleh (Chen et al.,

2022) memungkinkan deteksi penyakit secara real-time dan dengan tingkat akurasi yang tinggi

Saat ini dunia kesehatan sedang mengalami perubahan besar dalam cara mendiagnosis penyakit. Berkat kemajuan bioteknologi, kita kini memiliki alat dan metode yang jauh lebih canggih untuk mendeteksi penyakit. Seperti yang diteliti oleh (Liao et al., 2023) bioteknologi telah mengubah cara kita melihat dan mendiagnosis penyakit. Salah satu contohnya adalah penggunaan teknik deteksi yang sangat canggih, yaitu bisa melihat tubuh manusia dengan lebih detail dan akurat. Selain itu, bioteknologi juga memungkinkan kita untuk melakukan biopsi cair, yaitu pemeriksaan sampel darah atau cairan tubuh lainnya untuk mendeteksi tanda-tanda penyakit sejak dini. Semua perkembangan ini membuat diagnosis penyakit menjadi lebih cepat, tepat, dan personal. Kita dapat mendeteksi penyakit lebih awal, sehingga pengobatan bisa dilakukan lebih efektif. Selain itu, diagnosis yang lebih akurat juga memungkinkan kita untuk memberikan pengobatan yang tepat sesuai dengan kondisi masing-masing pasien(Evangel Chinyere Anyanwu et al., 2024)

Teknik-teknik seperti Polymerase Chain Reaction (PCR), sekuensing gen, dan amplifikasi asam nukleat telah menjadi bagian turunan dalam mendiagnosis gangguan genetik, penyakit menular, dan beberapa jenis kanker (Shahrajabian & Sun, 2023). Keakuratan yang ditawarkan oleh alat-alat bioteknologi ini meningkatkan ketepatan diagnosis dan menginformasikan strategi pengobatan yang lebih terarah. Alat-alat bioteknologi ini sangat akurat dalam mendiagnosis penyakit, sehingga dokter dapat menentukan pengobatan yang tepat. Kemajuan bioteknologi juga memungkinkan kita untuk melakukan tes di tempat perawatan (point-of-care testing). Alat-alat kecil yang portabel ini dapat digunakan untuk memeriksa berbagai penyakit, seperti penyakit menular, masalah jantung, dan

gangguan metabolisme. Kemampuan untuk melakukan tes di tempat sangat penting, terutama di daerah terpencil atau daerah dengan sumber daya terbatas. Hal ini memastikan bahwa pasien dapat segera mendapatkan diagnosis dan pengobatan yang tepat

1.2.1 Penggunaan Tes Genetik untuk Mendiagnosis Penyakit

Tes genetik dapat digunakan untuk berbagai tujuan, beberapa di antaranya tercantum adalah untuk:

- Pemeriksaan kesehatan bayi baru lahir merupakan penggunaan tes genetik yang paling luas. Deteksi dini penyakit-penyakit ini dapat mengarah pada intervensi untuk mencegah timbulnya gejala atau meminimalkan keparahan penyakit.
- Tes Pembawa (Carrier Testing) dapat digunakan untuk membantu pasangan mengetahui apakah mereka membawa alel untuk kondisi resesif seperti fibrosis kistik, anemia sel sabit, dan penyakit Tay-Sachs, yang dapat diturunkan kepada anak-anak mereka. Jenis tes ini biasanya ditawarkan kepada individu yang memiliki riwayat keluarga gangguan genetik dan kepada orang-orang dalam kelompok etnis dengan risiko tinggi terhadap kondisi genetik tertentu.
- Prenatal Diagnostic Testing digunakan untuk mendeteksi perubahan pada gen atau kromosom janin. Jenis tes ini ditawarkan kepada pasangan dengan risiko tinggi memiliki bayi dengan gangguan genetik atau kromosomal.
- Diagnostic Testing digunakan untuk mengkonfirmasi diagnosis pada individu yang menunjukkan gejala atau digunakan untuk memantau prognosis penyakit atau respons terhadap pengobatan.

- Predictive or Predispositional Genetic Testing dapat mengidentifikasi individu yang berisiko terkena penyakit sebelum timbulnya gejala. Tes ini sangat berguna jika seseorang memiliki riwayat keluarga penyakit tertentu dan ada intervensi yang tersedia untuk mencegah timbulnya penyakit atau meminimalkan keparahan penyakit.

Beberapa metode berbeda saat ini digunakan di laboratorium pengujian genetik. Jenis tes akan bergantung pada jenis kelainan yang diukur. Secara umum, tiga jenis utama pengujian genetik tersedia: sitogenetik, biokimia, dan molekuler.

1. Sitogenetika

Pengujian sitogenetik adalah metode analisis kromosom secara keseluruhan untuk mendeteksi kelainan genetik. Sel darah putih, khususnya limfosit T, sering digunakan dalam pengujian ini karena mudah diambil dan dibiakkan. Namun, sel dari jaringan lain seperti sumsum tulang atau cairan ketuban juga dapat digunakan. Setelah dibiakkan, kromosom akan diwarnai dan diamati di bawah mikroskop untuk melihat adanya kelainan pada struktur atau jumlah kromosom.

2. Biokimia

Pengujian biokimia berfokus pada analisis protein dalam tubuh untuk mendeteksi kelainan genetik. Protein berperan penting dalam berbagai fungsi selular, dan mutasi pada protein dapat menyebabkan penyakit. Tes biokimia dapat mengukur aktivitas enzim, kadar metabolit, atau jumlah protein tertentu dalam sampel seperti darah atau urin. Namun, protein lebih mudah rusak dibandingkan DNA, sehingga penanganan sampel harus dilakukan dengan hati-hati.

3. Molekuler

Pengujian molekuler secara langsung menganalisis DNA untuk mencari mutasi genetik. Metode ini sangat berguna untuk mendeteksi mutasi kecil yang sulit dideteksi dengan tes biokimia. Meskipun demikian, kompleksitas genetik beberapa penyakit, seperti fibrosis kistik, membuat pengujian molekuler menjadi lebih menantang karena melibatkan banyak mutasi yang mungkin terjadi.

1.2.2 Penggunaan Biomarker dalam Deteksi Dini Penyakit.

Biomarker memainkan peran penting dalam deteksi penyakit dan tindak lanjut pengobatan. Deteksi biomarker dalam cairan tubuh seperti darah dan urine merupakan alat medis yang kuat untuk diagnosis dan pengobatan dini penyakit. Biomarker seringkali hadir dalam konsentrasi yang sangat rendah tercampur dengan berbagai protein lain yang membuatnya lebih sulit untuk diidentifikasi. Dalam banyak kasus, deteksi biomarker pada konsentrasi yang sangat rendah sulit dan memakan waktu. Penting untuk dicatat bahwa penyakit pada tahap awal biasanya dapat diobati dengan kemungkinan keberhasilan terbesar. Oleh karena itu, deteksi dini biomarker sangat penting dalam kasus kanker, gangguan kardiovaskular, dan kondisi patologis lainnya.

Berbagai biomolekul dapat digunakan sebagai biomarker, termasuk antigen, DNA, mRNA, dan enzim. Namun, biomarker protein adalah jenis biomarker yang paling umum digunakan dalam diagnosis medis. Oleh karena itu, artikel ini berfokus pada penggunaan antigen sebagai biomarker dan teknologi deteksinya. Biomarker hadir dalam jaringan tumor, serum, dan cairan tubuh lainnya. Tujuan utama para peneliti di bidang deteksi biomarker adalah mengembangkan alat deteksi yang

andal, hemat biaya, dan kuat untuk prognosis, diagnosis, dan pemantauan kekambuhan penyakit tertentu. Selain itu, biomarker juga dapat digunakan untuk tindak lanjut pengobatan dengan memantau penurunan kadarnya secara konstan hingga mencapai tingkat tertentu (Nimse et al., 2016).

Prinsip dasar dari banyak metode deteksi biomarker adalah pengenalan molekular yang spesifik. Enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA), gel electrophoresis, surface plasmon resonance (SPR), Mass-sensing BioCD protein array, surface enhanced Raman spectroscopy (SERS), colorimetric assay, electrochemical assay, dan metode fluoresensi adalah beberapa metode deteksi biomarker. Metode-metode ini memungkinkan deteksi biomarker dengan sensitivitas dan spesifisitas yang tinggi, sehingga sangat berguna dalam diagnosis medis.

Tujuan utama penggunaan biomarker untuk diagnosis adalah mengembangkan alat deteksi yang andal, hemat biaya, dan kuat untuk diagnosis dini penyakit dan gangguan. Oleh karena itu, dengan menggunakan teknologi deteksi biomarker, dokter dapat memilih terapi yang tepat dan akurat untuk pasien mereka. Selain itu, biomarker dapat membantu dokter untuk secara efektif memantau perkembangan penyakit dan kekambuhannya.

Penggunaan biomarker untuk diagnosis kanker sangat penting untuk deteksi dini dan pemantauan pengobatan hingga prediksi prognosis yaitu memprediksi kambuhnya kanker. Salah satu penggunaan biomarker untuk kanker adalah pada kanker esofagus sebagai deteksi dini, prognosis hingga terapi. Endoskopi esofagus dengan biopsi dan analisis histopatologi merupakan standar yang digunakan untuk deteksi dan diagnosis dini. Kromoskopi, kromoskopi virtual, endoskopi magnifikasi,

dan teknik pencitraan endoskopi canggih lainnya dapat meningkatkan sensitivitas deteksi karsinoma tahap awal.

Salah satu contoh biomarker yang sering ditemukan adalah mutasi pada gen TP53 yang sering ditemukan pada kanker esofagus. Selain itu, kadar protein tertentu seperti CEA dan SCC antigen juga dapat meningkat pada pasien dengan kanker esofagus. Selain itu, molekul RNA kecil yang disebut mikroRNA juga telah diidentifikasi sebagai biomarker potensial, karena mereka berperan dalam mengatur ekspresi gen dan dapat memberikan petunjuk tentang perkembangan kanker. Dengan memanfaatkan informasi yang diperoleh dari biomarker, dokter dapat memilih terapi yang paling tepat, seperti kemoterapi, radioterapi, atau imunoterapi, yang secara spesifik menargetkan karakteristik molekuler dari tumor pasien. Pendekatan yang lebih personal ini diharapkan dapat meningkatkan efektivitas pengobatan dan meningkatkan kualitas hidup pasien kanker esofagus (Rai et al., 2023).

1.3. Pengembangan Vaksin dan Obat-Obatan

1.3.1 Pengembangan Vaksin

Meskipun praktik inokulasi telah dimulai lebih dari 500 tahun yang lalu, istilah "vaksin" pertama kali dijelaskan pada abad ke-18 oleh Edward Jenner. Istilah ini berasal dari "Vacca", kata Latin untuk sapi. Jenner menginokulasi seorang anak laki-laki berusia delapan tahun dengan lesi cacar sapi dari tangan para pemerah susu pada tahun 1796. Hal ini akhirnya memberikan kekebalan terhadap cacar. Setelah 80 tahun, Louis Pasteur berperan penting dalam mengembangkan vaksin hidup yang dilemahkan untuk rabies pada manusia, yang sangat sukses. Pada abad ke-19, kita menyaksikan evolusi teori kuman melalui penemuan berbagai mikroorganisme oleh Koch. Pada

pertengahan abad ke-20, setelah diperkenalkannya toksin yang dilemahkan (toksoid), generasi pertama vaksin dikembangkan. Melalui perkembangan ini, dimungkinkan untuk membuat vaksin untuk difteri dan tetanus. Pada tahun 1930-an, kemajuan besar dalam teknik laboratorium memungkinkan budidaya virus pada membran korioalantois embrio ayam. Hal ini mengarah pada pengembangan vaksin influenza dan demam kuning. Evolusi kultur sel 15 tahun kemudian mengarah pada penciptaan vaksin polio, dan ini menandai awal dari zaman keemasan vaksin. Selama periode ini, serangkaian vaksin penting seperti campak, gondong, rubella, dan cacar air dikembangkan. Pengenalan teknik DNA rekombinan dan sekuensing genom keseluruhan merupakan tonggak utama dalam pengembangan vaksin. Hal ini memberi para peneliti alat untuk mengembangkan vaksin baru melawan patogen, yang sebelumnya tidak mungkin dilakukan

Vaksin merupakan produk biologi yang merangsang sistem imun tubuh untuk mengenali dan melawan patogen tertentu. Vaksin umumnya mengandung antigen, bagian dari patogen yang memicu respons imun. Antigen ini dapat berupa protein atau polisakarida. Efektivitas vaksin diukur melalui uji klinis yang menghubungkan respons imun dengan perlindungan terhadap penyakit.

Vaksin umumnya diklasifikasikan sebagai hidup atau tidak hidup (infektif) untuk membedakan vaksin yang mengandung strain replikasi patogen yang dilemahkan dari yang hanya mengandung komponen patogen atau organisme lengkap yang dimatikan. Selain vaksin 'tradisional' yang hidup dan tidak hidup, beberapa platform lain telah dikembangkan selama beberapa dekade terakhir, termasuk vektor virus, vaksin berbasis asam nukleat RNA dan DNA, dan partikel seperti virus.

Perbedaan antara vaksin hidup dan vaksin tidak hidup memiliki implikasi klinis yang signifikan. Vaksin hidup, meskipun efektif, memiliki potensi replikasi yang tidak terkontrol pada individu immunocompromised, membatasi penggunaannya. Sebaliknya, vaksin tidak hidup umumnya lebih aman untuk populasi ini, meskipun respons imunnya mungkin tidak optimal pada individu dengan defisiensi humoral.

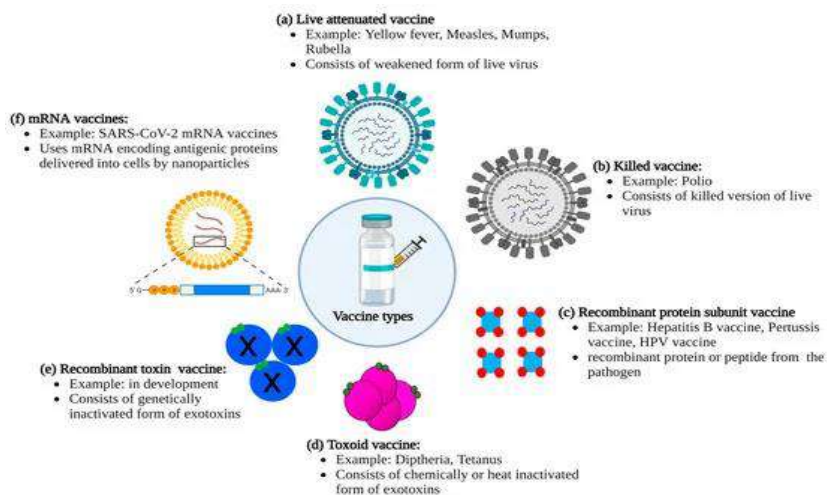
1.3.2 Vaksin Hidup dan Non Hidup

Perbedaan antara vaksin hidup dan vaksin non-hidup memiliki implikasi klinis yang signifikan. Vaksin hidup, meskipun efektif, memiliki potensi replikasi yang tidak terkontrol pada individu immunocompromised, membatasi penggunaannya. Sebaliknya, vaksin tidak hidup umumnya lebih aman untuk populasi ini, meskipun respons imunnya mungkin tidak optimal pada individu dengan defisiensi humoral

Vaksin hidup dikembangkan sehingga, pada inang yang kompeten secara imun, mereka bereplikasi cukup untuk menghasilkan respons imun yang kuat, tetapi tidak terlalu banyak sehingga menyebabkan manifestasi penyakit yang signifikan (misalnya, vaksin untuk campak, gondok, rubella, dan rotavirus, vaksin polio oral, vaksin bacillus Calmette-Guérin (BCG) *Mycobacterium bovis* untuk TB, dan vaksin influenza hidup yang dilemahkan). Ada pertukaran antara replikasi yang cukup dari patogen vaksin untuk menginduksi respons imun yang kuat dan atenuasi patogen yang cukup untuk menghindari penyakit simptomatik. Untuk alasan ini, beberapa vaksin hidup yang aman membutuhkan beberapa dosis dan menginduksi kekebalan yang relatif singkat (misalnya, vaksin tipus hidup yang dilemahkan, Ty21a), dan vaksin hidup yang dilemahkan lainnya dapat menginduksi beberapa penyakit ringan (misalnya,

sekitar 5% anak-anak akan mengembangkan ruam dan hingga 15% demam setelah vaksinasi campak).

Vaksin non-hidup memiliki beragam komponen, mulai dari organisme utuh (misalnya, vaksin pertusis sel-utuh), protein murni (misalnya, vaksin pertusis aseluar), protein rekombinan (misalnya, vaksin hepatitis B), hingga polisakarida (misalnya, vaksin pneumococcal). Vaksin toksoid, seperti vaksin tetanus dan difteri, merupakan protein toksin yang telah dinonaktifkan. Dalam meningkatkan imunogenisitas, vaksin non-hidup seringkali diformulasi dengan adjuvant. Meskipun alum telah digunakan secara luas, mekanisme kerjanya masih belum sepenuhnya dipahami. Adjuvant baru seperti emulsi minyak-dalam-air (MF59, AS01, AS04) menunjukkan potensi dalam meningkatkan respons imun dengan memberikan sinyal bahaya ke sistem imun bawaan.



Sumber : (Gupta & Pellett, 2023)

Gambar 2. Berbagai jenis vaksin : (a) vaksin hidup yang dilemahkan; (b) vaksin mati; (C) vaksin subunit protein rekombinan; (d) vaksin toksoid; (e) vaksin toksin rekombinan; (f) mRNA vaksin

3.3 Sejarah Vaksin di Dunia

Adapun sejarah perkembangan vaksin di dunia dimulai dari vaksin untuk cacar hingga covid-19, berikut ini garis waktu sejarah vaksin (Saleh et al., 2021):

a) Cacar

Salah satu penyakit menular tertua adalah cacar. Ratusan juta orang telah meninggal akibat penyakit ini. Cacar pertama kali dicatat secara tertulis di Cina pada abad ke-4. Organisasi Kesehatan Dunia (WHO) menyatakan pada tahun 1980 bahwa pencegahan cacar adalah penyakit pertama yang berhasil diberantas di seluruh dunia melalui program imunisasi agresif. Pada abad ke-16, uji coba variolisasi pertama tercatat dilakukan di India dan Cina. Ini dilakukan dengan memasukkan keropeng cacar atau nanah melalui jalur kulit atau hidung. Di Inggris dan kolonial Massachusetts pada tahun 1721, inokulasi pertama kali dilakukan selama wabah cacar di seluruh dunia.

Perkembangan vaksin cacar telah menghasilkan tiga jenis vaksin yang diakui secara global. Dryvax®, vaksin generasi pertama, telah memainkan peran penting dalam memberantas cacar. Namun, dengan kemajuan teknologi, muncullah vaksin generasi kedua seperti ACAM2000 dan generasi ketiga seperti MVA-BN yang menawarkan profil keamanan yang lebih baik. Meskipun cacar telah dinyatakan punah, pengembangan vaksin terus berlanjut untuk menghadapi potensi ancaman di masa depan.

b) *Human papillomavirus (HPV)*

Human papillomavirus (HPV), yang pertama kali diidentifikasi sebagai penyebab utama kanker serviks pada tahun 1983, telah menjadi fokus utama penelitian

kanker serviks. Setelah dua dekade penyelidikan, vaksin HPV pertama berhasil dikembangkan dan mendapatkan persetujuan FDA pada tahun 2006. Kanker serviks, yang sebelumnya merupakan salah satu jenis kanker paling umum pada wanita, kini telah mengalami penurunan signifikan berkat program vaksinasi HPV yang meluas.

c) Ebola

Virus Ebola pertama kali teridentifikasi sebagai penyebab wabah mematikan di Afrika Barat pada tahun 1976. Sejak saat itu, beberapa wabah serupa kembali terjadi dengan tingkat keparahan yang bervariasi. Puncaknya pada tahun 2014, wabah Ebola yang sangat parah melanda kawasan tersebut, menewaskan hingga 85% dari mereka yang terinfeksi. Kondisi darurat ini mendorong Organisasi Kesehatan Dunia (WHO) untuk menyatakan wabah Ebola sebagai ancaman global. Sebagai respons, upaya pengembangan vaksin Ebola pun dipercepat. Setelah melalui berbagai tahap uji coba pada hewan dan manusia, vaksin berbasis rVSV (Ervebo®) berhasil mendapatkan izin penggunaan darurat pada akhir 2019. Selain itu, kombinasi vaksin Ad26.ZEBOV dan MVA-BN-Filo juga telah disetujui untuk penggunaan medis. Meskipun demikian, penelitian terhadap vaksin Ebola terus berlanjut untuk meningkatkan efektivitas dan jangkauan perlindungan

d) Rotavirus

Virus rotavirus, yang pertama kali diidentifikasi sebagai penyebab utama diare parah pada anak-anak pada tahun 1973, telah menjadi fokus utama penelitian vaksin sejak awal 1980-an. Setelah beberapa kali uji klinis, vaksin rotavirus pertama, Rotashield®, berhasil dikembangkan dan diluncurkan pada tahun 1998. Sayangnya, vaksin ini harus ditarik dari pasaran karena

risiko efek samping yang serius. Namun, para ilmuwan tidak menyerah dan terus melakukan penelitian untuk menemukan vaksin yang lebih aman dan efektif. Hasilnya, pada tahun 2006, RotaTeq® dan kemudian Rotarix® berhasil mendapatkan izin edar dan menjadi bagian dari program imunisasi rutin di banyak negara, termasuk Amerika Serikat. Meskipun berbagai jenis vaksin rotavirus telah dikembangkan, penelitian lebih lanjut masih diperlukan untuk mengoptimalkan perlindungan terhadap penyakit ini

e) Hepatitis A

Virus Hepatitis A pertama kali terdeteksi di Amerika Serikat pada tahun 1973. Butuh tiga dekade untuk mengembangkan vaksin yang aman dan efektif untuk melawannya. Vaksin pertama melawan Hepatitis A disebut Havrix® dan dilisensikan pada tahun 1992. Diikuti oleh vaksin Vaqta® yang dilisensikan pada tahun 1993. Itu adalah satu-satunya vaksin yang dilisensikan untuk melawan virus Hepatitis A di Amerika Serikat.

f) Haemophilus Influenza

Bakteri ini ditemukan pada akhir abad ke-19 dan awalnya disangka sebagai penyebab penyakit flu. Namun, bakteri ini ternyata dapat menyebabkan berbagai penyakit infeksi, terutama pada anak-anak. Jenis Hib adalah yang paling berbahaya. Untuk mencegah penyakit ini, telah dikembangkan berbagai jenis vaksin. Vaksin konjugat yang merupakan kombinasi dari polisakarida PRP dengan protein lain adalah jenis vaksin yang paling efektif dan banyak digunakan saat ini.

g) Influenza

Pandemi influenza modern pertama yang terdokumentasi terjadi pada tahun 1580. Pandemi paling mematikan adalah "flu Spanyol" pada tahun 1918.

Awalnya, influenza dianggap penyakit bakteri hingga virusnya ditemukan pada tahun 1931. Vaksin influenza pertama dikembangkan pada pertengahan 1930-an. Sejak saat itu, komposisi virus influenza terus berubah, sehingga pengembangan vaksin pun terus beradaptasi. Pengawasan global terhadap virus influenza dimulai pada tahun 1952. Perkembangan teknologi memungkinkan pembuatan vaksin yang lebih cepat dan efektif untuk menghadapi pandemi baru seperti "flu Burung" dan "flu Babi". Saat ini, para ilmuwan berupaya mengembangkan vaksin universal yang dapat melindungi dari berbagai jenis influenza.

h) Covid-19

Covid-19 merupakan fenomena pandemi global. Virus ini pertama kali terdeteksi di Wuhan, China pada akhir tahun 2019, disebabkan oleh virus corona jenis baru (SARS-CoV-2) yang merupakan kerabat dekat virus SARS dan MERS. Sejak awal pandemi, para ilmuwan di seluruh dunia berlomba-lomba mengembangkan vaksin COVID-19. Proses pengembangan vaksin ini terbilang sangat cepat. Vaksin Pfizer-BioNTech menjadi vaksin COVID-19 pertama yang mendapatkan izin penggunaan darurat dari WHO. Setelah itu, beberapa vaksin lain seperti Moderna, AstraZeneca, dan Johnson & Johnson juga mendapatkan izin serupa.

1.3.4 Pengembangan Obat-Obatan

Penggunaan pendekatan bioteknologi dalam penemuan obat telah menjadi menonjol dalam penelitian dan pengembangan biofarmasi, yang merupakan produk penggunaan bioteknologi dalam menemukan target obat baru telah menghasilkan pendapatan bagi beberapa perusahaan farmasi, yang merupakan indikasi pentingnya dalam penemuan

obat. Selama bertahun-tahun, pendekatan bioteknologi seperti profil dan sekuensing genom keseluruhan, proteomik, dan teknik microarray telah melahirkan inovasi positif dalam menemukan target obat baru untuk menyembuhkan penyakit tertentu, terutama kanker. Peran genomik dan proteomik dalam mencapai hal ini tidak dapat terlalu ditekankan.

1.3.5 Peran Genomik dalam Penemuan Obat

Banyak penyakit, seperti diabetes, gangguan autoimun, gangguan neurologis, dan kanker, disebabkan oleh disregulasi interaksi kompleks gen-gen. Salah satu teknik paling canggih dan inovatif yang digunakan oleh peneliti bioteknologi adalah genomik, yang menggabungkan sekuens genom dan analisis genom manusia. Pengetahuan tentang genomik telah memberdayakan para peneliti untuk mengadopsi strategi yang lebih representatif dalam mengembangkan obat yang aman dan efektif.

Secuensing genom dapat memprediksi risiko terkena penyakit, asal-usul, sifat-sifat, dan respons terhadap obat. Dengan pengetahuan yang mendalam tentang data genomik, organisasi saat ini siap untuk mengembangkan obat-obatan yang mempengaruhi patogen atau sel kanker tanpa menyebabkan kerusakan pada sel-sel tubuh yang sehat. Selain itu, pengetahuan yang luas tentang genomik dapat memberikan ide-ide lebih lanjut tentang mekanisme kerja obat, yang berkontribusi pada penemuan agen terapeutik yang baru.

Perbedaan dalam susunan genom pada manusia menghadirkan peluang berlebih untuk penemuan obat yang efektif, identifikasi molekul target, dan pengembangan calon obat yang tepat untuk studi preklinik dan klinis. Penggunaan studi gen dalam pengaturan preklinik mengharuskan seseorang untuk menyaring banyak senyawa dengan perbedaan yang

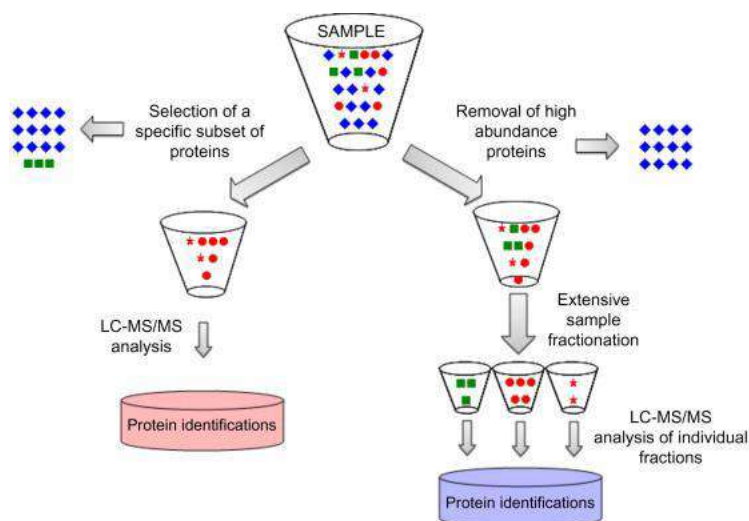
dapat diabaikan. Ketika gen target diisolasi, senyawa kimia yang bekerja paling baik secara besar-besaran bertentangan dengan semua sub tipe-nya dipilih untuk studi lebih lanjut yang menyangkut endotelium manusia, data genomik tentang konteks organ target dapat ditambah dengan bioinformatika untuk proses penemuan. Adopsi array transkripsi atau sekuensing DNA dari perpustakaan DNA komplementer dari sel endotel manusia memberikan sudut pandang tentang transkripsi gen dalam endotelium manusia. Demikian pula, proteomik dapat memberikan pemahaman tentang protein yang berguna dalam sel tertentu (Sundarasekar & Sahgal, 2024).

1.3.6 Pendekatan Proteomik dalam Penemuan Obat Bioteknologi

Banyak penelitian telah membuktikan bahwa genomik membantu secara signifikan dalam identifikasi proses target obat karena dianggap sebagai skrining bertoutput tinggi dari gen yang diekspresikan. Selain itu, beberapa karya literatur menunjukkan bahwa analisis genom tidak memperhitungkan proses pasca-translasi, yang memperhitungkan amandemen protein dan metabolisme protein. Genomik diposisikan pada data genetik, sedangkan proteomik mempertimbangkan data genetik DNA atau mRNA, serta modifikasi pasca-translasi protein. Dengan demikian, praktik-praktik yang terlibat dalam penemuan obat beralih dari genomik ke proteomik. Namun, penemuan target molekuler untuk penyakit spesifik memerlukan pemahaman dan pemanfaatan metode genomik dan proteomik pada tingkat biokimia dan fisiologis.

Proteomik telah memperoleh banyak pertimbangan sebagai platform pengembangan obat, keterampilan yang diadopsi dalam proteomik dapat memberikan evaluasi yang luas tentang banyak aktivitas dalam penelitian klinis berbagai

penyakit. Karena sebagian besar obat mengikat protein atau asam nukleat (enzim, saluran ion, atau reseptor), model proteomik melibatkan pelacakan protein yang tidak stabil yang mendorong efek berbahaya, dan selanjutnya, penerapan molekul obat untuk merevisi efeknya. Pendekatan proteomik melibatkan: 1) Identifikasi dan validasi target, 2) Identifikasi biomarker (Efektivitas dan keamanan). Enzim merupakan molekul biologis yang berfungsi mempercepat reaksi biokimia tertentu dan menghasilkan produk yang spesifik. Enzim, seperti halnya protein lain, disintesis oleh jaringan tubuh untuk memenuhi kebutuhan metabolik.



Gambar 3. Proteomik dalam Diagnosis Penyakit

Sumber : (Xu et al., 2020)

Enzim dengan spesifisitas, afinitas, dan katalitik efisiensi yang tinggi sangat diperlukan dalam berbagai proses kimia untuk menopang kehidupan dan mempercepat reaksi kimia. Semua karakteristik enzim ini merupakan fokus utama dari semua pengembangan obat-obatan untuk mengatasi penyakit. Lebih dari satu jaringan atau organ dapat mensintesis satu atau

lebih banyak enzim. Konsumsi teratur dari enzim dan makanan kaya enzim membantu melindungi tubuh dari kemungkinan terjangkitnya penyakit.

DAFTAR PUSTAKA

- Chen, K., Shen, Z., Wang, G., Gu, W., Zhao, S., Lin, Z., Liu, W., Cai, Y., Mushtaq, G., Jia, J., Wan, C. (Craig), & Yan, T. (2022). Research progress of CRISPR-based biosensors and bioassays for molecular diagnosis. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 10(September), 1–18. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2022.986233>
- Evangel Chinyere Anyanwu, Jeremiah Olawumi Arowoogun, Ifeoma Pamela Odilibe, Opeoluwa Akomolafe, Chinyere Onwumere, & Jane Osareme Ogugua. (2024). The role of biotechnology in healthcare: A review of global trends. *World Journal of Advanced Research and Reviews*, 21(1), 2740–2752. <https://doi.org/10.30574/wjarr.2024.21.1.0382>
- Gupta, S., & Pellett, S. (2023). Recent Developments in Vaccine Design: From Live Vaccines to Recombinant Toxin Vaccines.
- Hargreaves, L. (2023). The evolution of biotechnology: From ancient civilisations to modern day. *Medical Writing*, 32(4), 40–44. <https://doi.org/10.56012/gxcw4769>
- Liao, C., Xiao, S., & Wang, X. (2023). Bench-to-bedside: Translational development landscape of biotechnology in healthcare. *Health Sciences Review*, 7(February), 100097. <https://doi.org/10.1016/j.hsr.2023.100097>
- Nimse, S. B., Sonawane, M. D., Song, K. S., & Kim, T. (2016). Biomarker detection technologies and future directions. *Analyst*, 141(3), 740–755. <https://doi.org/10.1039/c5an01790d>
- Rai, V., Abdo, J., & Agrawal, D. K. (2023). Biomarkers for Early Detection, Prognosis, and Therapeutics of Esophageal Cancers. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(4). <https://doi.org/10.3390/ijms24043316>

- Saleh, A., Qamar, S., Tekin, A., Singh, R., & Kashyap, R. (2021). Vaccine Development Throughout History. *Cureus*, 13(7), 1–7. <https://doi.org/10.7759/cureus.16635>
- Shahrajabian, M. H., & Sun, W. (2023). Five Important Seeds in Traditional Medicine, and Pharmacological Benefits. *Seeds*, 2(3), 290–308. <https://doi.org/10.3390/seeds2030022>
- Sundarasekar, J., & Sahgal, G. (2024). Role of Genomics and Proteomics in Drug Discovery BT - Concepts in Pharmaceutical Biotechnology and Drug Development (S. Bose, A. C. Shukla, M. R. Baig, & S. Banerjee (eds.); pp. 207–246). Springer Nature Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-97-1148-2_11
- Vallat, B. (2005). Biotechnology applications in animal health and production. *OIE Revue Scientifique et Technique*, 24(1), 9–11. <https://doi.org/10.20506/rst.24.1.1548>
- Xu, P., Wang, L., Chen, D., Feng, M., Lu, Y., Chen, R., Qiu, C., & Li, J. (2020). The application of proteomics in the diagnosis and treatment of bronchial asthma. *Annals of Translational Medicine*, 8(4), 132–132. <https://doi.org/10.21037/atm.2020.02.30>

BAB 2

BIOTEKNOLOGI KELAUTAN DAN PERIKANAN

Oleh Nadia Andhini

2.1 Pendahuluan

Bioteknologi kelautan dan perikanan merupakan cabang ilmu yang mengintegrasikan prinsip-prinsip biologi dan teknologi untuk memanfaatkan potensi sumber daya laut dan perikanan secara optimal. Dari sekian banyak ekosistem di bumi, salah satu lingkungan yang memiliki keanekaragaman luar biasa adalah laut. Laut dan ekosistem perairan memiliki kekayaan biodiversitas yang sangat besar, menawarkan sumber daya yang melimpah, mulai dari ikan, crustasea, moluska, hingga mikroorganisme laut yang dapat dimanfaatkan untuk berbagai tujuan, baik komersial maupun konservasi.



Gambar 4. Keanekaragaman Hayati Laut

Beberapa tahun terakhir ini, tekanan terhadap sumber daya laut dan perikanan semakin meningkat akibat eksploitasi berlebihan, perubahan iklim, dan pencemaran lingkungan. Oleh karena itu, bioteknologi sebagai solusi inovatif yang berkontribusi pada pengelolaan sumber daya kelautan dan perikanan secara berkelanjutan. Sumber daya kelautan dan perikanan yang dapat dimanfaatkan berupa organisme laut seperti invertebrata, rumput laut, bulu babi atau landak laut, teripang, dan mikroba laut terbukti mampu memproduksi bahan aktif dengan struktur unik sebagai produk alami laut. Sedangkan mikroba laut juga terbukti mampu mempertahankan kualitas budidaya sehingga aman untuk digunakan sebagai media budidaya ikan dan biota perairan lainnya. Bioteknologi juga menciptakan spesies ikan yang memiliki karakter genetik dihasilkan melalui rekayasa gen. Melalui rekayasa gen, yang dapat digunakan untuk merekayasa genetik biota laut khususnya ikan agar memiliki pertumbuhan yang cepat, warnanya menarik, dagingnya tebal, rentan terhadap penyakit dan sebagainya. Melalui penerapan bioteknologi, diharapkan dapat dicapai peningkatan produktivitas, efisiensi, dan keberlanjutan, serta mendukung pelestarian ekosistem laut bagi kehidupan di bumi.

Ruang lingkup bioteknologi kelautan dan perikanan meliputi:

1. Peningkatan Produksi Akuakultur: Mengembangkan metode budidaya yang lebih efisien, ramah lingkungan, dan menghasilkan produk berkualitas tinggi.
2. Konservasi Sumber Daya Laut: Menyediakan alat dan teknik untuk melindungi dan memulihkan ekosistem laut yang terancam.

3. Pengembangan Produk Baru: Mengeksplorasi dan memanfaatkan kekayaan hayati laut untuk pengembangan obat-obatan, bahan pangan, dan produk industri lainnya.
4. Pengelolaan Sumber Daya yang Berkelanjutan: Menggunakan teknologi genetik dan bioinformatika untuk memantau dan mengelola populasi ikan serta ekosistem laut.

Dengan berbagai potensi yang dimilikinya, bioteknologi kelautan dan perikanan diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan dalam mendukung ketahanan pangan global, memperkuat ekonomi biru, dan melindungi keanekaragaman hayati laut yang melimpah dan berharga.

2.2 Akuakultur

Akuakultur atau budidaya perairan dalam bioteknologi kelautan dan perikanan berfokus pada pengembangan teknologi untuk meningkatkan efisiensi, produktivitas, dan keberlanjutan produksi organisme air, seperti ikan, kerang, udang, dan alga. Dengan penerapan bioteknologi, akuakultur dapat menghasilkan produk yang lebih berkualitas, mendukung konservasi sumber daya alam, dan memenuhi kebutuhan pangan global. Keunggulan bioteknologi dalam akuakultur berupa produktivitas yang lebih dalam pertumbuhan dan hasil panen. Hal ini mengurangi dampak negatif terhadap ekosistem alami dengan penggunaan pakan alternatif dan teknologi ramah lingkungan. Organisme hasil rekayasa atau seleksi genetik lebih adaptif terhadap kondisi lingkungan yang berubah, seperti suhu atau salinitas air. Penerapan bioteknologi dalam akuakultur tidak hanya mendukung produksi pangan yang lebih efisien, tetapi juga memainkan peran penting dalam pelestarian

lingkungan dan pengelolaan sumber daya perikanan yang berkelanjutan. Berikut adalah beberapa aplikasi bioteknologi dalam akuakultur.

2.2.1 Pemuliaan Selektif

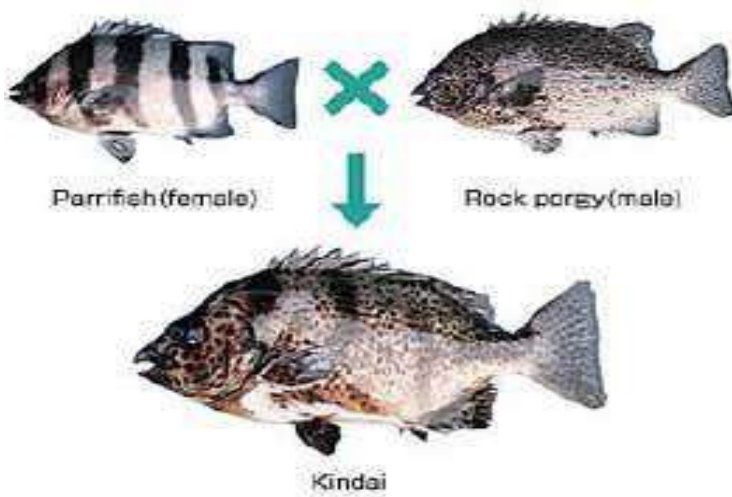
Pemuliaan selektif perikanan budidaya adalah proses pemuliaan ikan atau biota lain untuk meningkatkan kualitasnya melalui seleksi genetik. Tujuannya adalah untuk mendapatkan benih yang unggul dan induk yang produktif. Tujuan lainnya pemuliaan selektif ialah untuk menghasilkan strain ikan atau biota lain yang memiliki pertumbuhan cepat, rentan terhadap penyakit, dan efisien dalam pemanfaatan pakan. Teknik ini dapat dimanfaatkan seperti seleksi genetik dan hibridisasi untuk memperbaiki sifat-sifat unggul dari spesies budidaya.

Indikator yang digunakan untuk mengetahui perbaikan mutu calon induk tersebut dilihat melalui uji performa *genetic gain* (perbaikan genetik) dan *differential selection* (seleksi differensial) pada pertumbuhan fenotip yang terukur yaitu berat. Dengan adanya seleksi individu, generasi yang sekarang akan mengalami peningkatan pertumbuhan berat perindividu. Kriteria lain juga bisa digunakan, seperti karakter reproduksi (fekunditas, daya tetas/ Hatching Rate/HR), ukuran telur, ukuran larva, dan lain-lain), warna, ketahanan penyakit, ketahanan perubahan kondisi lingkungan, karakter *Deoxy Nucleid Acid* (DNA) dan lain-lain.



Gambar 5. Ovaprim

Bioteknologi reproduksi telah memfasilitasi pengembangan teknik reproduksi buatan, seperti inseminasi buatan, fertilisasi in vitro, dan penggunaan hormon untuk mengatur siklus reproduksi. Salah satunya hormon pelepas gonadotropin (GnRH). GnRH adalah pengatur utama dan inisiator utama reproduksi pada semua vertebrata (Bhattacharya *et al.*, 2002). GnRH terbaru yang dimurnikan dan dikarakterisasi dilakukan oleh Carolsfeld *et al.*, (2000). GnRH salmon yang sekarang banyak digunakan dalam pemuliaan ikan dan secara komersial dengan nama Ovaprim. Pemuliaan ikan yang diinduksi kini berhasil dicapai dengan pengembangan teknologi GnRH salah satunya pada induksi maturasi ikan seluang (*Rasbora einthovenii*).



Gambar 6. Hibridisasi perikanan budidaya

2.2.2 Rekayasa Genetik

Rekayasa genetika perikanan budidaya adalah teknik untuk mengubah sifat-sifat ikan budidaya dengan cara menggabungkan gen dari organisme yang berbeda. Teknik ini juga dikenal sebagai transgenik. Rekayasa genetika perikanan budidaya dapat dilakukan untuk meningkatkan produksi akuakultur, meningkatkan ketahanan pangan, meningkatkan pertumbuhan ikan, menjaga kelestarian ikan. Tujuan rekayasa genetika untuk memperkenalkan atau memodifikasi gen tertentu untuk meningkatkan karakteristik organisme budidaya. Rekayasa genetika adalah upaya untuk memodifikasi molekul genetik dari suatu organisme sehingga diperoleh sifat baru yang dimiliki. Beberapa metode yang sering digunakan dalam teknik rekayasa genetika meliputi penggunaan vektor, kloning, PCR (*Polymerase Chain Reaction*), dan seleksi, screening, serta analisis rekombinan. Contoh rekayasa genetik dalam akuakultur

berupa pengenalan gen yang meningkatkan ketahanan terhadap penyakit atau stres lingkungan, serta gen yang mempercepat pertumbuhan. Contoh rekayasa genetika pada ikan budidaya adalah:

1. Hibridisasi

Hibridisasi adalah salah satu teknik rekayasa genetika yang dilakukan pada perikanan budidaya untuk memperoleh variasi keturunan yang lebih banyak. Hibridisasi merupakan proses persilangan antar spesies untuk mendapatkan sifat baru dan meningkatkan keragaman genetik. Ikan hasil persilangan ini lebih kuat dan tahan terhadap perubahan lingkungan. Berikut beberapa contoh penerapan hibridisasi pada perikanan budidaya:

a. Ikan koi

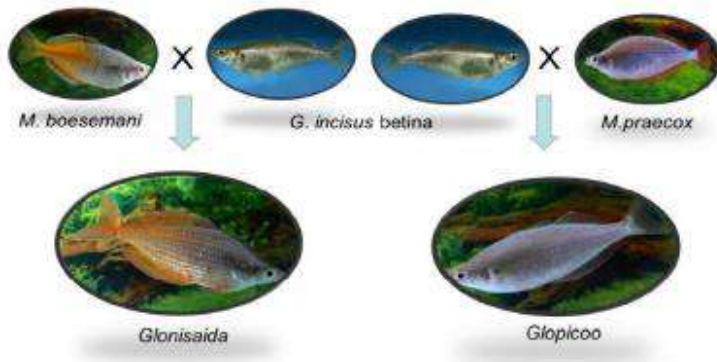
Perkawinan silang ikan koi dengan jenis yang sama namun memiliki warna yang berbeda dapat menghasilkan variasi warna yang beragam.

b. Ikan mas

Perkawinan silang ikan mas dengan ikan komet dapat menghasilkan keturunan yang unggul. Hasil perkawinan ikan komet betina dengan ikan mas jantan memiliki keunggulan pada angka pembuahan, penetasan, dan kelangsungan hidup.

c. Ikan sturgeon

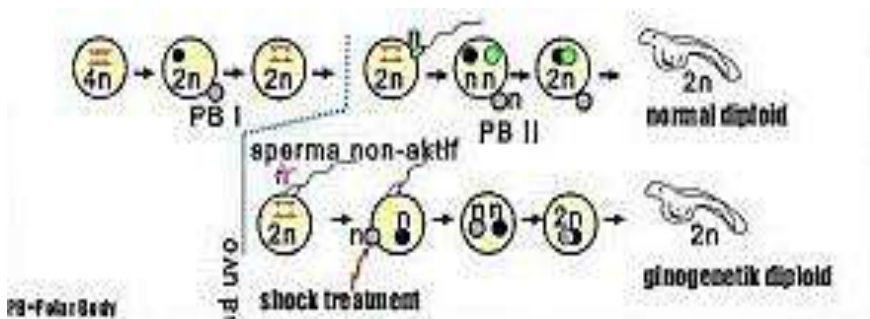
Persilangan spesies *Huso huso* x *Acipenser ruthenus* menghasilkan jenis ikan yang lebih kuat dan resisten terhadap perubahan lingkungan.



Gambar 7. Hibridisasi

2. Ginogenesis

Ginogenesis adalah teknologi rekayasa genetika yang menghasilkan keturunan ikan dari induk betina saja. Ginogenesis dilakukan dengan merusak gen sperma jantan dan memberikan kejutan suhu pada gen gamet betina. Ginogenesis dapat terjadi secara alami dan buatan.



Gambar 8. Ginogenesis

Ginogenesis dilakukan dengan cara:

1. Mengirradiasi genetis spermatozoa
2. Difertilisasikan ke telur

3. Zigot hasil didiploidisasikan

Pada proses ginogenesis, gamet jantan hanya berfungsi untuk merangsang perkembangan telur, sehingga sifat-sifat genetisnya tidak diturunkan. Ginogenesis dapat digunakan untuk menjaga kelestarian ikan, seperti ikan Sturgeon. Populasi ikan yang ideal adalah komposisi jantan dan betina yang seimbang.

2.2.3 Pengembangan Pakan Berbasis Bioteknologi

Inovasi pembuatan pakan dengan memanfaatkan mikroalga, probiotik, atau enzim untuk meningkatkan efisiensi pencernaan dan pertumbuhan organisme budidaya. Beberapa manfaatnya untuk mengurangi ketergantungan pada sumber daya laut seperti tepung ikan sebagai alternatif pakan protein tinggi, sehingga lebih ramah lingkungan.

Pendekatan nutrigenom telah membantu dalam memahami respons ikan terhadap pakan dan pengoptimalan formulasi pakan berdasarkan profil genetik individu. Hal ini menguntungkan dimana pakan menjadi optimal dan daya tahan ikan menjadi meningkat. Penggunaan bioteknologi salah satunya yaitu polimorfisme (SNP) dari gen yang berhubungan dengan peradangan mungkin berperan dalam produksi sitokin dan kemudian berinteraksi dengan asam lemak n-3 (FA) makanan untuk memodulasi peradangan. Interaksi gen-diet diamati antara SNP dalam gen terkait peradangan yang memodulasi tingkat biomarker inflamasi plasma (Cormier et al., 2016). Sisipan gen ini dapat meningkatkan ekspresi gen yang memicu peningkatan respons ikan terhadap pakan dan meningkatkan daya tahan ikan.



Gambar 9. Produk pakan berbasis bioteknologi

Penambahan probiotik dan prebiotik dalam pakan ikan telah terbukti meningkatkan kesehatan pencernaan, pertumbuhan, dan resistensi terhadap penyakit pada ikan budidaya. Hal ini merupakan salah satu contoh penerapan bioteknologi dalam mendukung kesehatan dan produktivitas ikan. Bioteknologi juga berkontribusi dalam pengolahan limbah pada budidaya ikan, seperti bioremediasi limbah organik dan penggunaan bakteri pengurai untuk meningkatkan kualitas air di kolam pemeliharaan.

2.2.4 Pengendalian Penyakit

Penggunaan teknik molekuler seperti PCR (Polymerase Chain Reaction) untuk deteksi dini patogen. Pengembangan vaksin berbasis DNA dan probiotik untuk meningkatkan kekebalan dan kesehatan organisme budidaya, mengurangi penggunaan antibiotik.



Gambar 10. Probiotik untuk organisme budidaya

Probiotik adalah mikroba yang menguntungkan bagi ikan yang dibudidayakan. Mikroba itu antara lain bakteri asam laktat seperti *Lactobacillus*, *Carnobacterium*, beberapa kelompok *Bacillus*, dan *Pseudomonas*. Probiotik membantu menjaga kesehatan ikan dengan meningkatkan kesehatan pencernaan, mengurangi risiko penyakit, dan meningkatkan kualitas air. Probiotik untuk tambak ikan yang dihasilkan dari bioteknologi, berupa:

a. EM4

Probiotik yang mengandung bakteri asam laktat (*Lactobacillus casei*) dan ragi (*Saccharomyces cerevisiae*). EM4 berbentuk cairan berwarna coklat dengan rasa manis dan aromatik.

b. Probiotik Rabal

Probiotik yang dihasilkan dari fermentasi ragi tape dengan bakteri asam laktat. Probiotik Rabal mengandung bakteri *Lactobacillus casei* dan *Saccharomyces cerevisiae*. Penggunaan probiotik yang tidak terkontrol dapat memberikan dampak negatif pada ikan. Untuk menghindari dampak negatif tersebut, penggunaan probiotik harus didasari oleh hasil kajian ilmiah

Sedangkan probiotik untuk tambak udang dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu probiotik air dan probiotik pakan:

- a. Probiotik air : dicampur langsung ke dalam air tambak untuk menghambat perkembangan bakteri patogen.
- b. Probiotik pakan : dicampur ke dalam makanan udang untuk meningkatkan keseimbangan mikroba dalam usus udang.

Beberapa bakteri yang dapat digunakan sebagai probiotik untuk tambak ikan dan udang, antara lain: *Bacillus* sp, *Lactobacillus*, *Saccharomyces cerevisiae*, *Nitrobacter* spp, *Aerobacter*, *Streptococci*, *Roseobacter*, *Pseudomonas*. Selain probiotik menggunakan teknik kloning dan rekayasa genetika memungkinkan pengembangan ikan transgenik yang lebih tahan terhadap penyakit atau lebih toleran terhadap lingkungan. Pemanfaatan mikroba dalam mempertahankan kualitas media budidaya sehingga aman untuk digunakan sebagai media budidaya ikan.

2.2.5 Bioteknologi Akuakultur Berbasis Lingkungan

Menggunakan mikroorganisme untuk mengontrol kualitas air dan mendaur ulang nutrisi, mendukung produksi yang lebih bersih dan efisien seperti sistem bioflok dan akuaponik. Penggunaan bakteri atau mikroalga untuk menghilangkan

polutan dan menjaga kualitas air di sistem akuakultur, dalam proses ini biasanya menggunakan bioremediasi.



Gambar 11. Sistem Bioflok



Gambar 12. Desain kolam Bioflok

Teknologi bioflok (BFT) merupakan salah satu sistem budidaya dengan metode yang menggabungkan teknik akuakultur tradisional dengan konsep pengolahan limbah organik menggunakan mikroorganisme. Sistem ini dikembangkan untuk meningkatkan efisiensi produksi ikan dan mengurangi dampak negatif lingkungan akibat limbah organik. Dalam sistem bioflok, kolam budidaya diisi dengan air yang

diperkaya dengan pakan dan bakteri probiotik. Pakan yang diberikan kepada ikan mengandung nutrisi yang mencukupi untuk pertumbuhan ikan, sementara bakteri probiotik bertugas untuk menguraikan limbah organik yang dihasilkan ikan. Bioflok ini terdiri dari beragam mikroorganisme, seperti bakteri, alga, dan protozoa. Mikroorganisme ini bekerja secara sinergis untuk menguraikan limbah organik menjadi bahan organik yang lebih sederhana dan nutrisi yang dapat dimanfaatkan oleh ikan.

2.2.5 Pemanfaatan Mikroalga

Mikroalga digunakan sebagai sumber pakan bernutrisi tinggi, mendukung diversifikasi produk akuakultur, seperti dalam produksi pangan. Beberapa jenis mikroalga memiliki sifat imunostimulan, membantu meningkatkan ketahanan ikan terhadap penyakit dalam menjaga kesehatan ikan. Pemanfaatan mikroalga sebagai pakan alami karena memiliki kandungan nutrisinya yang tinggi. Mikroalga memiliki nilai protein dan lemak mencapai 71% dan 77%. Pakan mikroalga ini dapat digunakan pada benih ikan seperti kakap putih dan benur udang seperti, udang windu dan vaname. Beberapa jenis mikroalga yang sering digunakan untuk pakan ikan di antaranya adalah *Skeletonema*, *Nannochloropsis*, *Dunaliella*, *Chlorella*, *Chaetoceros*, *Spirulina*, dan *Thalassiosira*.



Gambar 13. Pakan Alami untuk tambak dan kolam budidaya

2.3 Konservasi Sumber Daya Laut

Bioteknologi memainkan peran penting dalam konservasi dan rehabilitasi ekosistem laut dan perikanan. Dengan memanfaatkan teknologi biologi, konservasi sumber daya kelautan dan rehabilitasi ekosistem yang terdegradasi dapat dilakukan secara lebih efisien dan berkelanjutan. Peran penting dalam pengelolaan sumber daya laut yang berkelanjutan, dengan menggunakan teknologi canggih, seperti genetika molekuler dan bioinformatika, para ilmuwan dan pengelola sumber daya dapat memantau, melindungi, dan memanfaatkan sumber daya laut secara lebih efektif.

Keunggulan Bioteknologi dalam Konservasi Sumber Daya Laut yaitu mempercepat proses rehabilitasi dan konservasi yang secara alami membutuhkan waktu yang sangat lama. Menggunakan pendekatan berbasis genetik untuk pengelolaan spesies dan ekosistem, memungkinkan identifikasi masalah dan solusi yang lebih spesifik. Mendukung upaya pelestarian yang tidak hanya memperbaiki kerusakan, tetapi juga mencegah degradasi lebih lanjut. Dengan integrasi bioteknologi, upaya konservasi dan rehabilitasi ekosistem laut dan perikanan dapat dilakukan secara lebih efektif, memastikan keberlanjutan sumber daya laut untuk generasi mendatang.

Teknik genetika memberikan data akurat tentang populasi dan ekosistem, membantu pengelolaan yang berbasis sains. Memungkinkan pemantauan dan pengelolaan yang lebih efisien, mengurangi biaya dan waktu dibandingkan metode konvensional. Mendukung praktik pengelolaan yang berkelanjutan dengan fokus pada pelestarian keanekaragaman hayati dan keseimbangan ekosistem. Dengan penerapan bioteknologi, pengelolaan sumber daya laut dapat dilakukan secara lebih efektif dan berkelanjutan, memastikan bahwa laut

terus memberikan manfaat bagi manusia dan menjaga ekosistem yang sehat untuk masa depan. Berikut adalah beberapa aplikasi bioteknologi dalam aspek konservasi sumber daya laut:

2.3.1 Bioremediasi

Bioremediasi merupakan suatu tindakan kepada lingkungan tercemar untuk mengurangi jumlah polutan dengan memanfaatkan organisme yang memiliki daya akumulasi (Priadie, 2012). Bioremediasi dapat menggunakan organisme hidup yaitu bakteri, jamur, dan tumbuhan. Mikroorganisme, seperti bakteri dan mikroalga, digunakan untuk menguraikan polutan di lingkungan laut, termasuk minyak bumi, limbah organik, dan logam berat. Manfaatnya dapat memperbaiki kualitas air dan sedimen di lingkungan laut yang tercemar, sehingga mendukung kelangsungan hidup organisme laut.

Organisme yang mampu mengakumulasi merkuri bertujuan untuk menghilangkan, mereduksi, atau mengubah lingkungan tercemar menjadi bentuk yang kurang berbahaya atau tidak berbahaya (Suryani, 2011). Bioremediasi yang melibatkan *Pseudomonas* sp. merupakan bakteri gram negatif yang memiliki kemampuan metabolik yang luas dan dapat menguraikan kondisi lingkungan yang ekstrem. *Pseudomonas* sp. dapat bertahan dan aktif dalam berbagai lingkungan yang terkontaminasi merkuri (Suyono & Salahudin, 2011). Bakteri gram negatif memiliki kekompleksan struktur dinding sel sehingga ion logam mampu diikat oleh bakteri (Suryani, 2011). *Pseudomonas* sp memiliki gen resisten merkuri yang dikenal sebagai *mer* operon (Khastini et al., 2022). *Mer* operon mengandung gen yang mampu menyandikan protein regulasi dan protein fungsional yaitu *merT* dan *merP* untuk transport,

merA untuk mereduksi, serta mer B atau organomercury lyase untuk mereduksi merkuri organik (Neneng et al., 2020). Hasil penelitian yang dilakukan Sutanto et al., (2018) membuktikan bahwa *Pseudomonas* sp. mengandung gen yang resisten pada merkuri, khususnya resisten terhadap metil-merkuri, fenil-merkuri dan garam merkuri anorganik. MerB merupakan gen yang mengkodekan enzim MerB yang berfungsi sebagai sistem resistensi merkuri. Gen merB yang mengkode sintesis protein enzim organomercury liase terdapat pada isolat bakteri *Pseudomonas* sp (Kepel et al., 2012). Penelitian ini menunjukkan bahwa enzim MerB berperan dalam bioremediasi merkuri untuk mengkatalisis merkuri organik yaitu metil-merkuri.

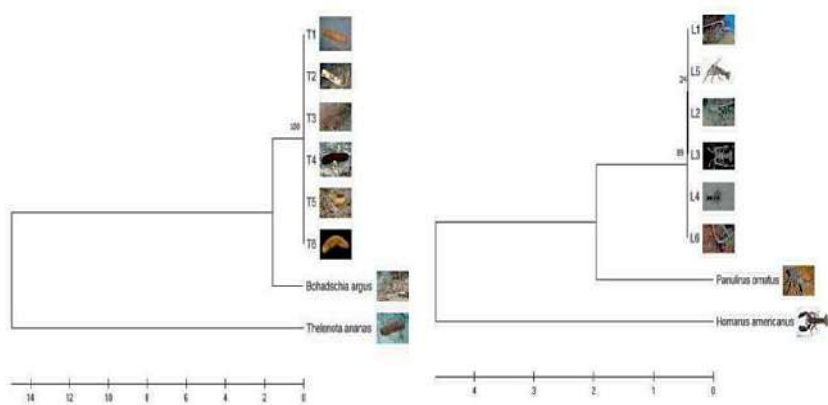
2.3.2 Pelestarian Keanekaragaman Hayati

Teknologi genetik digunakan untuk mengidentifikasi spesies secara akurat, termasuk spesies yang sulit dikenali secara morfologis, sehingga membantu dalam pelestarian keanekaragaman hayati laut, seperti DNA barcoding. DNA Barcoding digunakan untuk mengidentifikasi spesies laut secara akurat, termasuk yang sulit dikenali secara visual. Ini penting untuk melacak keanekaragaman hayati, mengidentifikasi spesies invasif, dan memantau spesies yang terancam punah. Manfaatnya berupa memudahkan pengelolaan dan pemantauan populasi spesies yang terancam punah dan mempermudah pengelolaan stok ikan dan memastikan penangkapan yang sesuai dengan aturan konservasi.

Identifikasi spesies secara molekuler diperlukan untuk pendekatan morfologi dan mempelajari taksonomi hewan laut. Menggunakan pendekatan molekuler melalui DNA Barcoding (Taylor dan Harriot, 2012), pada daerah gen sitokrom oksidase subunit I (COI) (Hebert et al., 2003). DNA barcoding

memberikan kecepatan dan keakuratan dalam identifikasi spesies (Karim et al., 2015). DNA Barcoding adalah alat molekuler dan bioinformatika untuk identifikasi spesies biologi (Casiraghi et al., 2010). Kelebihan DNA barcoding adalah dapat mengidentifikasi spesies yang sulit dibedakan secara morfologi (Hebert et al., 2004). Gen COI selain digunakan dalam mengidentifikasi, mengukur jarak genetik tetapi juga dapat digunakan dalam merekonstruksi filogenetik suatu spesies termasuk di dalamnya proses evolusi (Palumbi, 1994). Penelitian Hikam et al., (2021) bahwa analisis pohon filogenetik teripang dan lobster asal Perairan Papua (Gambar 11).

Pemantauan genetik populasi berupa analisis DNA digunakan untuk memantau kesehatan dan dinamika populasi spesies laut, membantu pengelolaan perikanan yang berkelanjutan. Restocking dengan pelepasan individu dari spesies yang telah dibesarkan di penangkaran ke habitat alami untuk meningkatkan populasi spesies yang mengalami penurunan drastis.



Gambar 14. Pohon Filogenetik Teripang dan Lobster
Sumber: (Hikam et al., 2021)

2.3.3 Konservasi Genetik

Penyimpanan sel, sperma, atau embrio spesies laut dalam kondisi beku untuk menjaga keanekaragaman genetik dan mendukung pemulihan populasi di masa depan, seperti Kriopreservasi. Bank genetik dengan mengumpulkan dan menyimpan materi genetik dari spesies laut yang terancam punah untuk tujuan penelitian dan pelestarian. Genetika konservasi digunakan untuk memahami dan menjaga keanekaragaman genetik spesies yang menjadi target restorasi. Penggunaan teknologi biologi untuk memperbaiki habitat laut yang rusak, seperti melalui transplantasi lamun dan mangrove, serta pembangunan terumbu karang buatan.

2.4 Bioprospeksi dan Pengolahan Produk Laut

Bioprospeksi adalah eksplorasi dan pemanfaatan sumber daya biologi, khususnya organisme laut, untuk menemukan senyawa bioaktif yang dapat dikembangkan menjadi produk bernilai tinggi, seperti obat-obatan, kosmetik, nutraceuticals, dan bahan industri. Lautan, dengan keanekaragaman hayati yang sangat tinggi, menjadi sumber potensial untuk bioprospeksi yang terus berkembang berkat kemajuan bioteknologi.

Bioteknologi memiliki peran penting dalam pengolahan produk laut, baik dalam meningkatkan kualitas, efisiensi, keamanan, maupun nilai tambah dari hasil laut. Inovasi bioteknologi diterapkan dalam berbagai tahap pengolahan, mulai dari pemanfaatan enzim untuk pengolahan, hingga pengembangan produk bernilai tinggi seperti suplemen nutrisi dan bahan bioaktif.

Keuntungan bioprospektif dan pengolahan produk laut untuk dengan menawarkan sumber baru untuk obat-obatan, bahan kimia, dan energi yang sebelumnya belum dieksplorasi. Memanfaatkan sumber daya laut secara berkelanjutan untuk menghasilkan produk bernilai tinggi tanpa merusak ekosistem. Efisiensi dan Keberlanjutan untuk mengurangi limbah, meningkatkan efisiensi produksi, dan memaksimalkan pemanfaatan sumber daya laut. Diversifikasi Produk untuk mengembangkan berbagai produk baru dengan nilai tambah tinggi, mendukung inovasi dalam industri perikanan dan kelautan. Mendorong inovasi dalam metode produksi dan pemanfaatan bahan baku biologis, dengan potensi pasar yang luas dan beragam. Potensi yang belum sepenuhnya digali ini terus berkembang seiring dengan kemajuan teknologi dan pemahaman kita terhadap ekosistem laut.

2.4.1 Eksplorasi Senyawa Bioaktif

Bakteri, fungi, dan mikroalga laut merupakan sumber senyawa bioaktif unik yang memiliki potensi sebagai antibiotik, antikanker, antioksidan, dan antiinflamasi. Invertebrata laut berupa Spons, cnidaria, dan moluska dikenal menghasilkan metabolit sekunder dengan aktivitas biologis tinggi yang dapat digunakan dalam terapi medis.

2.4.2 Teknologi Genetik dan Molekuler

Metagenomik dengan teknik analisis genetik langsung dari mikroorganisme laut yang belum dapat dikulturkan di laboratorium, membuka peluang untuk menemukan gen dan enzim baru dengan aplikasi industri. Rekayasa genetik teknik ini untuk memodifikasi mikroorganisme atau tanaman guna memproduksi senyawa bioaktif laut dalam skala besar.

2.4.3 Produksi Obat dan Bahan Medis

Antibiotik baru didapat Eksplorasi senyawa dari mikroorganisme laut untuk mengembangkan antibiotik baru, terutama yang efektif melawan bakteri resisten. Beberapa metabolit sekunder tersebut dapat menjadi bahan esensial dalam produksi obat-obatan antikanker, antibiotik, dan antibakteri. Organisme laut yang memiliki potensi untuk menjadi suplemen kesehatan meliputi prokariota, terutama bakteri laut seperti *Lactobacillus* dan *Notiluca scintillans*, alga yang mampu memproduksi senyawa metabolit sekunder, rumput laut, bulu babi, teripang, dan masih banyak lagi organisme laut yang belum tereksplorasi. Beberapa senyawa laut, seperti didemnin dan bryostatin, menunjukkan potensi besar dalam pengobatan kanker dan penyakit lainnya. Biomaterial medis seperti kitosan dari krustasea digunakan dalam pembalut luka dan sebagai bahan farmasi. Dengan demikian, organisme laut mampu menjadi kandidat yang menjanjikan dalam eksplorasi dan penemuan obat-obatan (Kamat *et al.*, 2022).

Asam lemak omega-3 dari ikan dan mikroalga merupakan suplemen nutrisi populer yang mendukung kesehatan jantung dan otak. Pigmen alami seperti astaxanthin dari mikroalga memiliki manfaat kesehatan yang luas, termasuk meningkatkan sistem imun dan melindungi mata. Ekstraksi dan pengolahan minyak ikan untuk menghasilkan suplemen omega-3 yang bermanfaat bagi kesehatan jantung dan otak. Peptida bioaktif dari protein ikan, dihasilkan peptida yang memiliki manfaat kesehatan seperti antihipertensi, antioksidan, dan antiinflamasi. Manfaatnya untuk memproduksi produk dengan nilai tambah tinggi dan manfaat kesehatan yang luas.

2.4.4 Aplikasi Kosmetik

Antioksidan dan anti-aging dapat diekstraksi dari senyawa organisme laut seperti alga sering digunakan dalam produk perawatan kulit karena kemampuan mereka melindungi kulit dari radikal bebas dan penuaan. Ekstrak dari organisme laut seperti kolagen dari ikan digunakan dalam produk pelembab dan penyembuhan kulit. Ekstrak Alga dan Mikroalga digunakan dalam produk kosmetik untuk manfaat seperti hidrasi, antioksidan, dan pelindung UV. Ekstrak dari kulit dan tulang ikan digunakan dalam pembuatan produk kosmetik seperti pelembab, anti-aging, dan masker wajah. Manfaatnya sebagai diversifikasi penggunaan hasil laut dalam industri kosmetik, meningkatkan nilai ekonomi produk laut.

2.4.5 Industri Bioteknologi

Enzim dari mikroorganisme laut sering memiliki stabilitas tinggi dalam kondisi ekstrem, menjadikannya sangat berguna dalam industri makanan, farmasi, dan deterjen. Senyawa ini digunakan dalam industri minyak dan pembersih untuk mengurangi tegangan permukaan dan meningkatkan efisiensi.

Enzim Protease digunakan untuk menghidrolisis protein dalam ikan dan hasil laut lainnya menjadi peptida dan asam amino, yang dapat digunakan sebagai bahan baku makanan dan suplemen nutrisi. Enzim Lipase dan Amilase digunakan untuk mengolah minyak ikan dan bahan makanan berbasis laut untuk meningkatkan kualitas dan stabilitas produk. Manfaat untuk meningkatkan efisiensi produksi, mengurangi limbah, dan menghasilkan produk dengan nilai nutrisi tinggi.

2.4.6 Pengembangan Biofuel

Mikroalga laut yang memiliki kandungan lipid tinggi dapat dimanfaatkan untuk produksi biodiesel, sementara makroalga digunakan untuk bioetanol. Produksi biofuel dari organisme laut berpotensi mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil dan menurunkan emisi karbon.

2.4.7 Pengembangan Produk Fermentasi

Fermentasi Ikan dan Udang menggunakan mikroorganisme tertentu untuk fermentasi ikan, udang, atau bahan laut lainnya untuk menghasilkan produk seperti terasi, ikan asin fermentasi, dan kecap ikan. Manfaatnya untuk meningkatkan cita rasa, memperpanjang umur simpan, dan meningkatkan keamanan pangan.

Pengawetan dengan Biopreservatif menggunakan enzim dan peptida antimikroba yang berasal dari hasil laut untuk memperpanjang umur simpan produk. Teknologi Cryopreservation menggunakan kriopreservasi untuk menjaga kualitas dan kesegaran produk laut selama penyimpanan dan transportasi. Manfaatnya untuk mempertahankan kualitas dan kesegaran produk laut, serta memperpanjang umur simpan tanpa menggunakan bahan kimia berbahaya.

2.4.8 Pengolahan Limbah dan Pemanfaatan Produk Sampingan

Limbah ikan seperti kepala, tulang, dan kulit dapat diolah menjadi produk bernilai tinggi seperti gelatin, kolagen, dan minyak ikan. Produksi kitosan dari limbah cangkang udang dan kepiting digunakan untuk memproduksi kitosan, yang memiliki aplikasi luas dalam industri farmasi, kosmetik, dan makanan.

Manfaatnya untuk mengurangi limbah dan menciptakan produk tambahan yang bernilai ekonomi tinggi.

2.4.9 Produksi Biofilm dan Bioplastik

Biofilm dari Alga digunakan untuk pengemasan produk laut yang ramah lingkungan dan biodegradable. Bioplastik dari Biopolimer Laut dikembangkan dari kitosan atau agar-agar sebagai pengganti plastik konvensional dalam kemasan makanan laut. Manfaatnya untuk mendukung pengurangan limbah plastik dan menciptakan kemasan yang lebih ramah lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

- Battacharya s.,Dasgupta,S, Datta,M ,and Basu, D. 2002
Biotechnology input in fish breeding .*Indian journal of biotechnology*,1:29-38.
- Carolsfeld J, Powell, J.k, Park,M Fisher. W, H Craig A.G, Chang, J.P. River, J,E and Sherwood N.M. 2000/ Primary structure and function of three gonadotropin releasing hormone. *Endocrinology*, 141: 505-512.
- Casiraghi M, Labra M, Ferri E, Galimberti A, De Mattia F. 2010. DNA barcoding: a six-question tour to improve users' awareness about the method. *Briefings in bioinformatics* 11(4): 440-453.
- Cormier, H., Rudkowska, I., Lemieux, S., Couture, P., & Vohl, M. 2016. Expression and Sequence Variants of Inflammatory Genes ; Effects on Plasma Inflammation Biomarkers Following a 6-Week Supplementation with Fish Oil. *International Journal of Molecular Science*, 3(17), 1–15. doi.org/10.3390/ijms17030375
- Hikam, A. M., Mubarakati, N. J., Dailami, M., & Toha, A. H. A. 2021. *DNA barcoding pada invertebrata laut DNA barcoding on marine invertebrates*. 25(1), 46–56.
- Hebert PDN, Cywinska A, Ball SL, Dewaard JR. 2003. Biological identifications through DNA barcodes. *Proc. R. Soc. Lond. B. Biol. Sci.* 270: 313–321.
- Hebert PDN, Penton EH, Burns JM, Janzen DH, Hallwachs W. 2004. Ten Species In One: DNA Barcoding Reveals Cryptic Species In The Neotropical Skipper Butterfly *Astrartes fulgurator*. *PNAS* 101(41): 14812-14817.
- Kamat, S., M. Kumari, K. V. Sajna, S. Mohan dan C. Jayabaskaran. 2022. *Marine Endophytes from The Indian Coasts: The Untapped Sources of Sustainable Anticancer Drug Discovery*. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*., 27(100675): 1-21.

- Karim A, Iqbal A, Akhtar R, Rizwan M, Amar A, Qamar U, Jahan S. 2015. Barcoding of Fresh Water Fishes From Pakistan. *Mitochondrial DNA* 1- 4.
- Kepel, B. J., Yusuf, I., Natsir, R., & Badaruddin, F. (2012). Isolasi dan Karakterisasi Gen merB pada Bakteri *Pseudomonas* sp. Sebagai Gen Resistensi Merkuri Organik. *Jurnal Kedokteran Yarsi*, 20(2), 69–080. doi.org/10.33476/jky.v20i2.161
- Khastini, R. O., Zahranie, L. R., Rozma, R. A., & Saputri, Y. A. 2022. Review : Peranan Bakteri Pendegradasi Senyawa Pencemar Lingkungan melalui Proses Bioremediasi. *Bioscientist : Jurnal Ilmiah Biologi*, 10(1), 345. doi.org/10.33394/bioscientist.v10i1.4836.
- Neneng, L., Ardianoor, A., Usup, H. L. D., Adam, C., Zakaria, Z., Ghazella, A., Perangin-angin, S. B., & Alvianita, V. 2020. Potensi *Chlorella* sp. dan *Pseudomonas* sp. dari Areal Tambang Emas sebagai Mikroorganisme Potensial Pereduksi Merkuri. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 18(3), 617–625. doi.org/10.14710/jil.18.3.617-625
- Palumbi SR, Benzie J. 1991. Large mitochondrial DNA differences between morphologically similar Penaeid shrimp. *Mol Mar Biol Biotechnol*. 1991 Sep;1(1):27-34. PMID: 1669002.
- Suryani, Y. 2011. Bioremediasi Limbah Merkuri Dengan Menggunakan Mikroba Pada Lingkungan Yang Tercemar. *Istek*, 5(1-2), 139–148. journal.uinsgd.ac.id/index.php/istek/article/view/273
- Sutanto, S., Kepel, B. J., & Bodhi, W. 2018. Uji Resistensi Bakteri *Pseudomonas* Sp. yang Disolasi dari Plak Gigi terhadap Merkuri. *Jurnal e-Biomedik*, 6(1). doi.org/10.35790/ebm.6.1.2018.18764
- Suyono, Y., & Salahudin, F. 2011. Identifikasi dan Karakterisasi Bakteri *Pseudomonas* pada Tanah yang Terindikasi Terkontaminasi Logam. *Jurnal Biopropal Industri*, 02(01), 8–13. media.neliti.com/media/publications/53262-ID-none.pdf

Taylor HR, Harrist WE. 2012. An emergent science on the brink of irrelevance: a review of the past 8 years of DNA barcoding. *Molecular Ecology Resources* 12(3): 377-388.

BAB 3

BIOTEKNOLOGI LINGKUNGAN DI INDONESIA : POTENSI & TANTANGAN

Oleh Irfan Anwar Fauzan

3.1 Pendahuluan

Salah satu aspek dalam kehidupan manusia adalah berkaitan dengan lingkungan. Lingkungan merupakan tempat manusia beraktivitas, berinteraksi, hingga melakukan istirahat setelah beraktivitas. Disisi lain, permasalahan berkaitan dengan lingkungan setiap tahunnya semakin meningkat yang menyebabkan dibutuhkannya suatu pendekatan untuk mengurangi permasalahan lingkungan. Lingkungan yang tidak sehat akan mempengaruhi organisme yang ada didalamnya, baik itu manusia, hewan, tumbuhan, bahkan hingga mikroorganisme.

Permasalahan pada lingkungan yang dialami saat ini dapat disebabkan oleh beberapa hal. Peningkatan kepadatan penduduk menjadi salah satu faktor penyebab utama dalam meningkatnya permasalahan yang ada dilingkungan. Selain itu, maraknya urbanisasi menyebabkan beberapa wilayah di Indonesia, khususnya di Kota besar membuat permasalahan lingkungan menjadi semakin kompleks. Semakin pada penduduk dalam suatu wilayah, dapat menyebabkan peningkatan jumlah limbah domestik yang ada pada area tersebut. Limbah dihasilkan dapat berupa limbah rumah tangga yang meningkat,

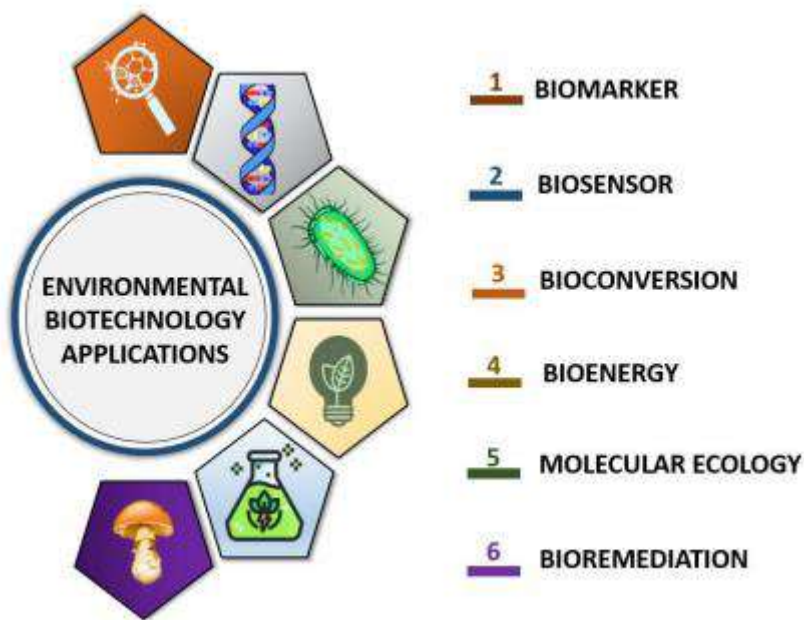
ataupun limbah air domestik yang dihasilkan dari aktivitas MCK (Mandi, Cuci, Kakus).

Selain permasalahan dari sektor kependudukan, permasalahan lingkungan jika dapat berasal dari semakin berkembangnya sektor industri di Indonesia. Pencemaran lingkungan baik dari aspek air hasil industri, pencemaran tanah, hingga pencemaran udara sering menjadi suatu permasalahan yang perlu dicari solusinya. Kualitas udara, tanah dan perairan disuatu lingkungan tentunya perlu dijaga agar tetap pada kualitas yang baik untuk dimanfaatkan oleh manusia. Selain itu, kualitas lingkungan yang buruk juga perbaiki untuk mengembalikan fungsi ekosistem serta meningkatkan kesehatan lingkungan tersebut. Berdasarkan data dari Badan Pusat Statistik tahun 2021, terdapat total 17.826 Desa/Kelurahan di Indonesia yang terkena pencemaran lingkungan, dengan total 10.683 Desa/Kelurahan terdampak pencemaran air, 1.499 Desa/Kelurahan terdampak pencemaran tanah, dan 5.644 Desa/Kelurahan terkena pencemaran udara. Banyaknya wilayah di Indonesia yang terkena cemaran memerlukan suatu pendekatan untuk mengurangi cemaran tersebut.

Terdapat beberapa pendekatan yang bisa digunakan untuk melakukan perbaikan pencemaran lingkungan, yaitu pendekatan fisik, kimia dan biologis. Pendekatan biologis merupakan salah satu pendekatan yang bisa dilakukan untuk menyelesaikan permasalahan lingkungan yang saat ini terjadi. Bioteknologi lingkungan merupakan suatu sub-bidang dari Bioteknologi yang berfokus kepada penyelesain permasalahan lingkungan, baik dari aspek deteksi polutan, pengurangan cemaran, hingga perbaikan ekosistem lingkungan hidup.

Sesuai dengan namanya, bioteknologi lingkungan menggunakan makhluk hidup, baik tanaman, hewan, hingga mikroorganisme, untuk menyelesaikan permasalahan

lingkungan. Selain menggunakan organisme hidup, ilmu bioteknologi lingkungan juga mempelajari berkaitan dengan hasil metabolisme organisme yang juga dapat digunakan dalam proses penyelesaian permasalahan dilingkungan. Menurut Tekten (2023), aplikasi bioteknologi lingkungan dapat dibagi menjadi beberapa aspek yaitu Biomarker, Biosensor, Bioconversion, Bioenergi, ekologi molekuler, dan bioremediasi. Berikut merupakan aplikasi bioteknologi lingkungan beserta perkembangan dan tantangannya dalam implementasi di Indonesia.



Gambar 15. Aplikasi Bioteknologi Lingkungan

Sumber : (Tekten, 2023)

3.2 Biomarker

Biomarker dalam aspek bioteknologi lingkungan merupakan pemanfaatan suatu sebagai suatu indikator untuk mendeteksi dan memantau aspek lingkungan pada suatu wilayah. Pemanfaatan Biomarker sendiri bertujuan untuk menilai apakah lingkungan tersebut tercemar suatu polutan pada tingkat tertentu yang dapat mengakibatkan perubahan metabolisme / perilaku pada suatu organisme. Biomarker bisa digunakan dengan organisme eukariot, hingga organisme prokariot. Organisme yang dipilih sebagai biomarker harus merupakan organisme yang sensitive terhadap perubahan suatu lingkungan, sehingga dapat menjadi tolak ukur cemaran pada lingkungan tersebut.

Pendekatan Biomarker dalam penyelesaian permasalahan lingkungan dapat dilakukan dengan memanfaatkan organisme bioindikator dan biomonitoring. Organisme bioindikator merupakan organisme yang dapat dimonitor keberadaannya dalam suatu lingkungan untuk mengstimasikan tingkat Kesehatan suatu lingkungan. Organisme bioindikator dapat memberikan data secara kualitatif dari kondisi suatu lingkungan (Posudin, 2014). Keberadaan suatu organisme bioindikator menunjukkan lingkungan tersebut baik atau tercemar. Sebagai contoh, *lichen* (lumut) *Hypogymnia physodes* merupakan bioindikator bagi kondisi udara suatu lingkungan. *H. physodes* sensitif terhadap kualitas udara disuatu wilayah, jika udara pada wilayah tersebut tercemar suatu polusi, maka lumut ini tidak bisa hidup. Tidak ada nya *H. physodes* dapat mengindikasikan kondisi udara dengan SO_2 yang tinggi. Selain untuk menunjukkan lingkungan yang buruk, organisme bioindikator juga bisa digunakan untuk melihat suatu lingkungan memiliki Kesehatan lingkungan yang baik. Sebagai contoh, keberadaan siput air tawar (*freshwater snail*) spesies *Bithynia tentaculate*

dapat menjadi salah satu indicator kondisi lingkungan yang baik Hal ini dikarenakan siput tersebut hanya dapat hidup pada lingkungan yang bersih dari polutan.

Selain bioindikator, biomonitoring juga merupakan salah satu pendekatan yang bisa digunakan untuk melihat tercemarnya suatu lingkungan. Biomonitoring merupakan penggunaan oraganisme atau komunitas organisme untuk mengetahui kondisi kesehatan suatu lingkungan dengan paparan yang lebih lama serta melihat perubahan metabolisme, perilaku, hingga pertumbuhan organisme tersebut. Contoh organisme yang sering dijadikan bioindikator adalah *Daphnia* sp. *Daphnia* sp. merupakan krustase yang banyak digunakan dalam mengukur kualitas suatu perairan karena sifatnya yang sensitif dengan perubahan lingkungan perairan (Posudin, 2014). Berbeda dengan bioindikator, biomonitoring dapat memberikan hasil kuantitatif dari cemaran yang ada disuatu lingkungan. Perbedaan bioindikator dan biomonitoring adalah sebagai berikut :

Tabel 1. Perbedaan Bioindikator dan Biomonitoring

Aspek	Bioindikator	Biomonitoring
Fungsi	Melihat kondisi kesehatan suatu lingkungan pada suatu waktu	Mengukur dan memonitor suatu lingkungan beserta respon organisme yang ada di dalamnya
Ruang Lingkup	Berfokus kepada ada tidaknya suatu spesies yang menandakan lingkungan tersebut tercemar atau tidak	Berfokus pada monitoring jangka panjang pada suatu organisme

Aspek	Bioindikator	Biomonitoring
Pendekatan	Kualitatif	Kuantitatif
Durasi	Dilakukan satu kali pada saat perhitungan sampel	Dilakukan dalam waktu yang lama secara terus menerus dan di monitor dalam jangka panjang

Biomarker menggunakan organisme tertentu dapat dilakukan di Indonesia sebagai salah satu upaya melakukan monitoring kondisi perairan dari cemaran. Sebagai contoh, penelitian Takarina *et al.* (2021), menunjukkan bahwa ikan pada suatu perairan, baik yang dijual secara komersial ataupun tidak dapat menjadi indikator Tingkat Cadmium (Cd), Copper (Cu), dan Zinc (Zn). Pada muara sungai Blanakan, Kabupaten Subang, Jawa Barat, terdapat beberapa ikan yang menunjukkan respon akumulatif dari cemaran logam pada perairan tersebut. Beberapa ikan yang terdeteksi dapat mengakumulasi cemaran logam yaitu Spesies ikan yang digunakan meliputi *Cynoglossus lingua*, *Dussumieria acuta*, *Eleutheronema tetradactylum*, *Hexanemichthys sagor*, *Johnius belangerii*, *Leiognathus splendens*, *Lutjanus russelli*, *Mystus nemurus*, *Oxyeleotris marmorata*, *Pomadasys maculatus*, *Sardinella fimbriata*, *Stolephorus commersonii*, *Terapon theraps*, *Tetraodon nigriviridis* dan *Periophthalmus gracilis*. Ikan-ikan tersebut memberikan respon terhadap peningkatan cemaran logam pada muara Sungai Blanakan, sehingga bisa digunakan sebagai biomarker untuk cemaran logam pada suatu perairan.

Biomarker merupakan salah satu pendekatan yang cukup efektif untuk digunakan dalam memonitor suatu lingkungan. Biomarker tergolong kedalam pendekatan yang lebih mudah dan murah karena menggunakan Sebagian besar menggunakan organisme yang hidup langsung pada alamnya tanpa perlu melakukan rekayasa. Hal ini juga didukung dengan kondisi iklim dan geografis Indonesia yang membuat Indonesia memiliki biodiversitas organisme yang sangat tinggi. Eksplorasi lebih dalam terkait dengan potensi organisme yang ada di Indonesia tentunya masih perlu dilakukan, sehingga terdapat banyak organisme yang digunakan sebagai biomarker untuk mengamati Kesehatan suatu lingkungan.

3.3 Biosensor

Biosensor dalam konteks bioteknologi lingkungan merupakan suatu alat yang memanfaatkan organisme dan juga molekul dari suatu organisme untuk mendeteksi suatu cemaran yang ada di suatu lingkungan. Berbeda dengan biomarker yang berfokus kepada organisme, biosensor sendiri merupakan gabungan antara teknologi suatu alat dengan organisme dan komponennya, sehingga bisa mendapatkan data yang akurat dan bersifat real time. Organisme yang biasanya dimanfaatkan untuk biosensor biasanya merupakan mikroorganisme seperti bakteri ataupun mikroalga. Biosensor juga banyak memanfaatkan molekul dari suatu organisme seperti enzim ataupun DNA.

Implementasi biosensor di Indonesia saat ini masih dalam tahap perkembangan. Dikarenakan biosensor menggunakan suatu peralatan dan tidak hanya memanfaatkan suatu makhluk hidup, tentunya pengembangan dari biosensor sendiri cukup kompleks dan memerlukan waktu yang cukup panjang sampai bisa diimplementasikan. Pengembangan biosensor juga dapat

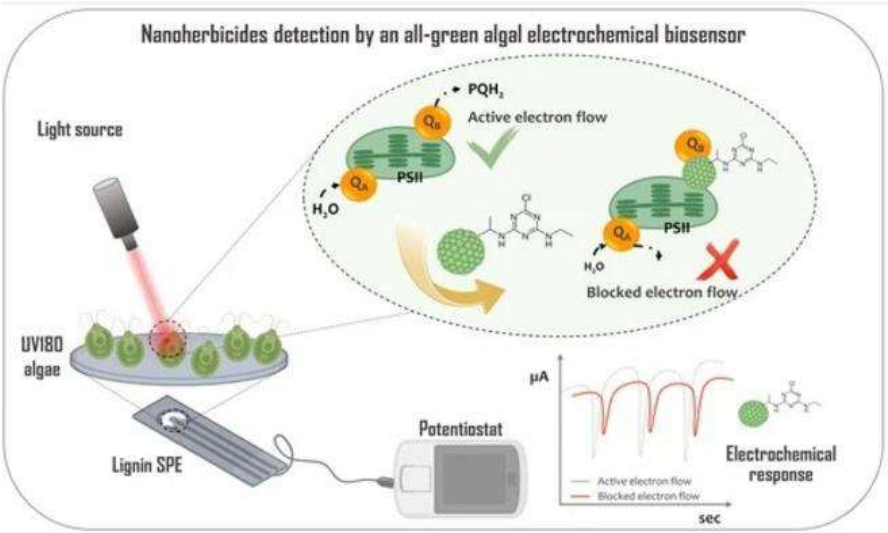
diintegrasikan dengan perkembangan teknologi, seperti di bidang informatika dan kecerdasan atifisial. Umar *et al.* (2015) melakukan pengembangan biosensor berbasis alga untuk melakukan pemantauan cemaran pada suatu lingkungan. Biosensor tersebut menggunakan mikroalga *Chlorella kessleri* yang diintegrasikan dengan sistem Intelligent Mobile Lab (IMOLA).

Biosensor ini akan mendeteksi perubahan dari fotosintesis mikroalga untuk menggambarkan konsentrasi oksigen dalam lingkungan, sehingga bisa menjadi refrensi untuk menentukan adanya cemaran lingkungan. Pada penelitian tersebut, digunakan *Crude Palm Oil* (CPO) sebagai cemaran pada sampel, dan didapatkan biosensor tersebut dapat mendeteksi adanya pencemaran, yang ditunjukan dengan meningkatnya aktivitas fotosintesis mikroalga tersebut.

Implementasi biosensor di Indonesia sendiri tentunya masih memerlukan penelitian dan pengembangan lebih dalam. Salah satu kendala utama dari pengembangan biosensor adalah memiliki organisme yang kompatibel dengan alat yang akan digunakan. Optimasi molekul dari suatu organisme juga diperlukan untuk mendapatkan biosensor yang akurat dan adaptif terhadap beberapa kondisi lingkungan. Dengan pesatnya perkembangan teknologi saat ini, pengembangan biosensor dapat dilakukan dengan menggunakan pendekatan kecerdasan buatan, baik dari aspek seleksi hingga implementasi.

Mikroalga sendiri merupakan salah satu mikroorganisme yang banyak ditemukan di Indonesia, baik untuk mikroalga air tawar ataupun laut. Mikroalga merupakan mikroorganisme yang sering digunakan dalam biosensor karena selain memiliki adaptasi yang baik terhadap berbagai kondisi, kemampuan fotosintesis mikroalga dapat menjadi salah satu hal yang penting dalam pengembangan biosensor. Seperti biosensor yang

dikembangkan oleh Antonacci *et al.* (2023), yang memanfaatkan mikroalga *Chlamydomonas reinhardtii* yang telah direkayasa genetiknya sebagai biosensor cemaran herbisida dalam lingkungan perairan. Biosensor tersebut memanfaatkan perubahan aktivitas fotosintesis dari *Chlamydomonas reinhardtii* pada fotosistem II dikarenakan adanya paparan nanoherbisida. Perubahan elektron kemudian dapat dijadikan patokan adanya cemaran nanoherbisida.

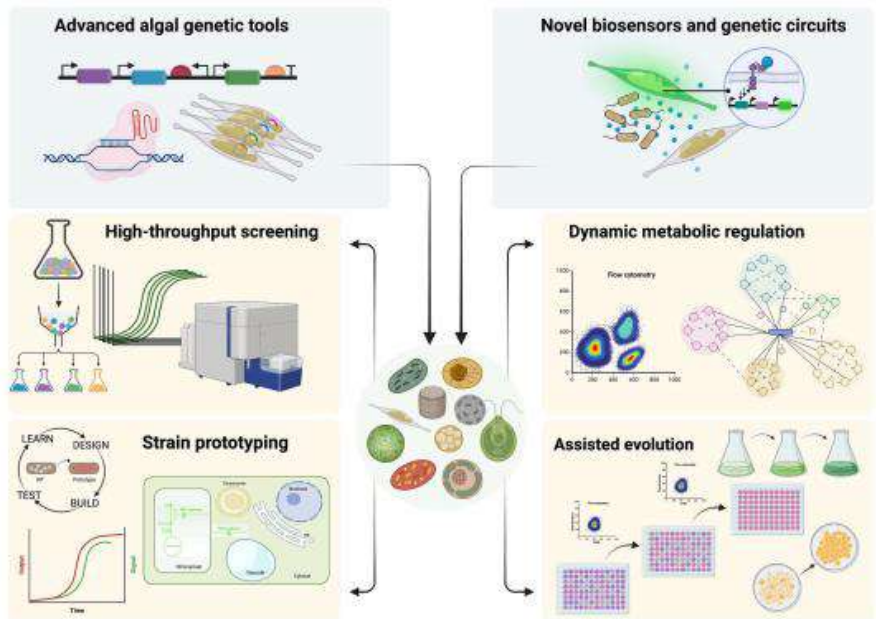


Gambar 16. Prinsip Kerja Biosensor untuk Nanoherbisida

Sumber: Antonacci *et al.*, 2023

Selain itu, pengembangan biosensor di Indonesia, khususnya dalam mikroalga bisa menggunakan pendekatan untuk optimasi mikroorganisme yang digunakan. Menurut Patwari *et al.* (2023), pengembangan biosensor menggunakan mikroalga bisa dilakukan melalui beberapa pendekatan, seperti melakukan rekayasa genetika pada mikroalga, screening mikroalga yang potensial, optimasi strain baru, pengendalian

metabolism mikroalga sesuai dengan kebutuhan, hingga memanfaatkan pendekatan *assisted evolution* untuk mendapatkan strain yang lebih adaptif.



Gambar 17. Peluang Optimasi Mikroalga untuk Biosensor

Sumber: Patwari *et al.* (2023)

3.4 Biokonversi dan Bioenergi

Biokonversi merupakan proses perubahan limbah atau suatu pencemar yang mengandung bahan organik, menjadi produk yang dapat dimanfaatkan lebih lanjut. Dengan menggunakan pendekatan biokonversi, selain mengurangi pencemaran lingkungan, limbah yang tidak bernilai dapat memiliki nilai tambah bagi industri dan pelaku usaha. Biokonversi biasanya dilakukan dengan pendekatan *biorefinery*. Konsep *biorefinery* merupakan suatu pendekatan untuk mengolah biomassa menjadi berbagai jenis produk yang memiliki nilai tinggi (Xu *et al.*, 2022). Hal ini membuat

pengolahan biomassa lebih optimal, efisien, dan juga mengurangi pencemaran hasil produksi.

Pencemar organik pada suatu lingkungan dapat dikonversikan menjadi berbagai produk yang bernilai tambah. Produk hasil biokonversi dapat dihasilkan dengan menggunakan mikroorganisme lain untuk mengubah bahan organik tersebut menjadi produk yang memiliki nilai tambah. Salah satu pendekatan yang bisa dilakukan dengan menggunakan teknologi fermentasi. Limbah di lingkungan, terutama pada limbah cair, cenderung akan memiliki kandungan gula yang cukup tinggi. Apabila dibuang ke lingkungan tanpa pengolahan, maka berpotensi membuat mikroorganisme patogen tumbuh dengan cepat. Karena itu dengan pengolahan melalui fermentasi, gula yang terdapat dalam limbah organik dapat diolah menjadi produk yang bernilai tinggi seperti asam asetat. Kualitas produk dari fermentasi ini sendiri dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti pengolahan limbah awal, isolat yang digunakan, hingga kondisi fermentasi. Penggunaan isolat unggul merupakan suatu hal yang dapat dilakukan untuk memanfaatkan limbah organik dalam proses fermentasi.

Fermentasi bahan organik dalam menghasilkan suatu produk dapat menghasilkan hasil yang berbeda karena perbedaan jalur fermentasi yang digunakan oleh mikroorganisme fermentor. Sebagai contoh, pada fermentasi menggunakan bakteri asam laktat, terdapat 3 macam fermentasi yaitu *Homolactic Fermentation*, *Heterolactic Fermentation*, dan *Bifidus Fermentation*.

Homolactic Fermentation merupakan fermentasi yang menggunakan *Embden-Meyerhof-Parnas Pathway*, atau jalur glikolisis yang umum. Fermentasi model ini menghasilkan 2 ATP dari setiap molekul glukosa, serta umumnya tidak menghasilkan

gas seperti CO₂. Fermentasi jalur ini biasanya menggunakan mikroorganisme seperti *Lactobacillus acidophilus*, *Lactobacillus bulgaricus*, dan *Lactobacillus helveticus*. *Heterolactic Fermentation* merupakan fermentasi yang menggunakan jalur *Hexose Monophosphate Pathway*. Fermentasi ini menghasilkan 1 ATP setiap molekul glukosa dan biasa digunakan dengan bakteri seperti *Lactobacillus brevis*, *Lactobacillus fermentum*, dan *Lactobacillus reuteri*. Karakteristik fermentasi jalur ini adalah menghasilkan CO₂. *Bifidus Fermentation* merupakan fermentasi menggunakan *Phosphoketolase Pathway*. Energi yang dihasilkan dari fermentasi ini adalah 5 ATP dari setiap 2 molekul glukosa. Biasanya fermentasi jenis ini digunakan oleh mikroorganisme seperti *Bifidobacterium bifidum*. Hasil fermentasi ini biasanya akan menghasilkan asam asetat.

Bioenergi merupakan salah satu produk hasil biokonversi yang banyak digunakan dalam bioteknologi lingkungan. Bioenergi bisa dikonversikan dari berbagai jenis limbah seperti limbah padat dan limbah cair yang mengandung gula tinggi, hingga cemaran udara yang bisa memanfaatkan pendekatan carbon capture untuk menghasilkan produk bioenergi yang bernilai tinggi. Produk bioenergi yang dihasilkan dapat berupa biodiesel, bioetanol, biogas, hingga *bioelectricity*.

Di Indonesia sendiri sudah banyak dilakukan eksplorasi mikroorganisme potensial penghasil bioenergi baik berupa bakteri, mikroalga, hingga jamur. Bakteri seperti *Methanospirillum hungatei* berhasil diidentifikasi dari limbah air domestik dan berperan dalam menghasilkan biogas (Nurlina *et al.*, 2018). Beberapa mikroalga indigenus Indonesia juga dilaporkan memiliki potensi untuk memproduksi biodiesel, seperti *Nannochloropsis* sp. dan *Nitzschia* sp. yang diisolasi dari Muara Sungai Porong Jawa Timur (Nurhatika *et al.*, 2018) dan *Chlorella* sp. PKB yang diisolasi dari daerah Sumatera Selatan

(Jumiarni & Anggraini, 2021). Selain itu, mikroorganisme dari kelompok fungi seperti *Mucor irregularis* JR 1.1 yang diisolasi dari buah busuk, berpotensi sebagai mikroorganisme penghasil biodiesel.

Pendekatan konsep biokonversi dan bioenergi di Indonesia dapat diterapkan untuk menyelesaikan permasalahan lingkungan yang ada di Indonesia. Eksplotasi dan optimasi dari mikroorganisme indigenus/asli Indonesia harus terus dilakukan untuk mendapatkan mikroorganisme yang potensial, yaitu dapat menghasilkan produk yang baik/tinggi serta bisa beradaptasi dan bertahan hidup dalam kondisi lingkungan yang kurang baik. Pendekatan menggunakan rekayasa genetika dapat digunakan sebagai langkah mendapatkan strain mikroorganisme unggul untuk biokonversi limbah yang ada di Indonesia.

3.5 Bioremediasi

Bioremediasi berasal dari kata “Bio” yang artinya kehidupan dan “Remedy” yang artinya pemulihan. Bioremediasi merupakan proses pemulihan suatu lingkungan yang tercemar oleh suatu polutan sehingga kembali kondisi awal sebelum terdampak pencemaran menggunakan suatu organisme. Organisme yang digunakan dapat berasal dari berbagai jenis seperti bakteri, jamur, mikroalga, hingga makroorganisme seperti tanaman.

Bioremediasi dapat dilakukan secara *In-Situ* ataupun *Ex-Situ*. Bioremediasi *In-Situ* dilakukan dengan menambahkan organisme yang dapat mengurangi polutan ke dalam suatu lingkungan yang tercemar. Bioremediasi model ini lebih murah dan mudah untuk dilakukan, karena dilakukan pada lokasi tercemarnya suatu lingkungan, sehingga tidak memerlukan

pemindahan sampel dari lokasi ke luar lingkungannya. Bioremediasi *Ex-Situ* dilakukan dengan memindahkan area yang terkena kontaminasi polutan ke luar dari lingkungannya untuk diberi perlakuan pengurangan polutan. Bioremediasi *Ex-Situ* dilakukan pada sampel yang tidak memungkinkan untuk dilakukan remediasi pada lingkungan aslinya, dikarenakan polutan yang kompleks (Tekten, 2023).

Pendekatan bioremediasi dapat dilakukan untuk mengurangi polutan yang ada di Indonesia, khususnya pada lingkungan tanah dan perairan. Beberapa organisme di Indonesia diketahui memiliki potensi yang cukup baik dalam menjadi agen bioremediasi. Beberapa bakteri di Indonesia diketahui memiliki potensi sebagai agen bioremediasi, seperti *Salipiger* sp., *Bacillus altitudinis*, dan *Ochrobactrum anthropi* yang diisolasi dari tanah tercemar limbah minyak di Sumatera Utara, dapat mengurangi cemaran limbah minyak (Yani *et al.*, 2020); *Serratia marcescens* Neni-1 yang diisolasi dari tanah tekontaminasi di Padang, Sumatera Barat, dapat mengurangi cemaran pewarna sintesis organik (Gusmanizar *et al.*, 2016); *Cycloclasticus* sp. A5 yang diisolasi dari perairan laut di Indonesia dan dapat mendegradasi petroleum aromatik (Teramoto *et al.*, 2010); dan *Bacillus flexus* yang diisolasi dari perairan laut, selat Lombok dan Samudera Hindia, dan mendegradasi *crude oil* pada sampel (Syakti *et al.*, 2019).

Selain bakteri, mikroalga isolate indegenus Indonesia juga diketahui memiliki potensi sebagai agen bioremediasi. *Chlorella vulgaris* yang diisolasi dari perairan di Wonorejo, diketahui dapat mengurangi cemaran logam berat Kromium Cr (VI) pada air (Maysitha *et al.*, 2024) dan Mikroalga *Chlorella* sp. yang diisolasi dari air limbah hasil industri rumahan tahu di desa Mrican, Jawa Tengah, dapat tumbuh dengan baik pada air tercemar limbah tahu dan mengurangi kandungan bahan

organik di dalamnya (Widayat *et al.*, 2018). Beberapa spesies jamur juga diketahui memiliki potensi sebagai agen bioremediasi, seperti *Trametes sanguinea*, *Trametes polyzona*, dan *Neofomitella guangxiensis* yang didapatkan dari dekomposisi kayu pada Kebun Raya Batam, diketahui untuk mengurangi cemaran zat pewarna (Ramadhan *et al.*, 2021).

Bioremediasi juga dapat dilakukan oleh tumbuhan. Bioremediasi yang dilakukan menggunakan tumbuhan disebut dengan fitoremediasi. Beberapa penelitian menunjukkan tanaman Indonesia memiliki potensi sebagai agen bioremediasi. Tanaman *Lemna perpusilla* Torr. dari Danau Maninjau, Sumatera Barat diketahui dapat mengurangi cemaran fosfat dan nitrogen anorganik pada perairan (Chrismadha *et al.*, 2019). Selain itu, tanaman *Chrysopogon zizanioides* yang tumbuh di Sleman, Yogyakarta, diketahui juga dapat mengurangi cemaran limbah batik, dengan absorbsi CU dan Al pada bagian akar tanaman (Linggawati *et al.*, 2022). Kombinasi antara tanaman dengan mikroorganisme, seperti bakteri, diketahui juga dapat meningkatkan potensi agen bioremediasi, seperti tanaman *Scirpus grossus* dan *Typha angustifolia* yang diberikan bakteri *Vibrio alginolyticus* diketahui dapat mengurangi cemaran logam berat Al pada tanah.

Organisme yang berperan sebagai agen bioremediasi, baik makroorganisme ataupun mikroorganisme, berpotensi masih sangat melimpah pada lingkungan yang ada di Indonesia. Eksplorasi dan optimasi organisme potensial perlu terus dilakukan untuk meningkatkan keberhasilan implementasi pendekatan bioremediasi dalam mengurangi cemaran yang ada di Indonesia. Pendekatan rekayasa genetika, serta eksplorasi mikroorganisme pada lingkungan ekstim dapat dilakukan

sebagai upaya peningkatan kuantitas dan kualitas agen pengurai cemaran yang ada di Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

- Antonacci, A., Frisulli, V., Carvalho, L. B., Fraceto, L. F., Miranda, B., De Stefano, L., Johanningmeier, U., Giardi, M. T., & Scognamiglio, V. (2023). An all-green photo-electrochemical biosensor using microalgae immobilized on eco-designed lignin-based screen-printed electrodes to detect sustainable nanoherbicides. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(10088).
- Badan Pusat Statistik. (2023). *Statistik lingkungan hidup Indonesia 2023*. Jakarta: BPS-Statistics Indonesia. (statistik-lingkungan-hi...)
- Chrismadha, T., Suryono, T., Magfiroh, M., Mardiaty, Y., & Mulyana, E. (2019). Phytoremediation of Maninjau Lake water using minute duckweed (*Lemna perpusilla* Torr.). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 308, 012021.
- Gusmanizar, N., Halmi, M. I. E., Rusnam, M., Rahman, M. F. A., Shukor, M. S., Azmi, N. S., & Shukor, M. Y. (2016). Isolation and characterization of a molybdenum-reducing and azo-dye decolorizing *Serratia marcescens* strain NENI-1 from Indonesian soil. *Journal of Urban and Environmental Engineering*, 10(1), 113–123.
- Haura, A., & Ilmi, M. (2024). The potential of *Mucor irregularis* isolated from fruits in producing microbial lipid. *Malaysian Applied Biology*, 53(1), 19–25.
- Jumiarni, D., & Anggraini, N. (2021). Characterization of microalgae from lowlands in South Sumatera (Indonesia) as a potential source for biodiesel production. *Journal of Physics: Conference Series*, 1731, 012002.

- Linggawati, A., Maryani, Nugroho, A. P., & Rachmawati, D. (2022). Anatomical and histochemical responses of vetiver grass (*Chrysopogon zizanioides* L. Roberty) to phytoremediation ability of liquid batik waste. *Environment and Natural Resources Journal*, 20(4), 359–368.
- Maysitha, A. D., Titah, H. S., Pratikno, H., Wardhani, W. K., & Dienullah, R. M. A. (2024). Determination of minimum inhibitory concentration of chromium and salinity on *Chlorella vulgaris*. *Journal of Ecological Engineering*, 25(8), 130–140.
- Nurhatika, S., Ermavitalini, D., Saputro, T. B., & Apriyatmoko, Y. (2018). Biodiversity and characterization of high lipid content microalgae in Porong River Estuary East Java, Indonesia. *Biodiversitas*, 19(2), 627–632.
- Nurlina, E., Sambasri, S., Hartati, E., Safitri, R., & Hodijat, A. (2018). Utilization of waste as biogas substrate by dominant microbes identified. *IOP Conference Series: Journal of Physics*, 1013, 012211.
- Patwari, P., Pruckner, F., & Fabris, M. (2023). Biosensors in microalgae: A roadmap for new opportunities in synthetic biology and biotechnology. *Biotechnology Advances*, 68, 108221.
- Posudin, Y. (2014). *Methods of measuring environmental parameters*. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc.
- Purwanti, I. F., Obenu, A., Tangahu, B. V., Kurniawan, S. B., Imron, M. F., & Sheikh Abdullah, S. R. (2020). Bioaugmentation of *Vibrio alginolyticus* in phytoremediation of aluminum-contaminated soil using *Scirpus grossus* and *Typha angustifolia*. *Heliyon*, 6(e05004).
- Ramadhan, K. P., Anita, S. H., Oktaviani, M., Sari, F. P., Laksana, R. P. B., Nurhayat, O. D., & Yanto, D. H. Y. (2021). Biodecolorization of anthraquinone and azo dyes by newly isolated Indonesian white-rot fungi. *Biosaintifika: Journal of Biology & Biology Education*, 13(1), 16–25.

- Rizki, M. A. A. H., & Ilmi, M. (2021). The potential of oleaginous filamentous fungi isolated from soil of Baturraden Botanical Garden, Central Java, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 736, 012060.
- Saputro, T. B., Purwani, K. I., Ermavitalini, D., & Saifullah, A. F. (2019). Isolation of high lipid content microalgae from Wonorejo River, Surabaya, Indonesia and its identification using rbcL marker gene. *Biodiversitas*, 20(5), 1380–1388.
- Syakti, A. D., Lestari, P., Simanora, S., Sari, L. K., Lestari, F., Idris, F., ... & Hidayati, N. V. (2019). Culturable hydrocarbonoclastic marine bacterial isolates from Indonesian seawater in the Lombok Strait and Indian Ocean. *Heliyon*, 5, e01594.
- Takarina, N. D., Purwiyanto, A. I. S., & Suteja, Y. (2021). Cadmium (Cd), Copper (Cu), and Zinc (Zn) levels in commercial and non-commercial fishes in the Blanakan River Estuary, Indonesia: A preliminary study. *Marine Pollution Bulletin*, 170, 112607.
- Tekten, I., & Tekten, I. (2023). Review of the applications of bioremediation techniques in national and global frameworks. *Proceedings of the International Conference on Environmental Biotechnology*.
- Teramoto, M., Suzuki, M., Hatmanti, A., & Harayama, S. (2010). The potential of *Cycloclasticus* and *Altererythrobacter* strains for use in bioremediation of petroleum-aromatic-contaminated tropical marine environments. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 110(1), 48–52.
- Umar, L., Alexander, F., & Wiest, J. (2015). Application of algae-biosensor for environmental monitoring. *IEEE International Conference on Innovative Research in Engineering and Technology*.

- Widayat, J. P., & Wibisono, J. (2018). Cultivation of *Chlorella sp.* on freshwater and wastewater of tofu industry. *E3S Web of Conferences*, 31, 04009.
- Xu, M., Yang, M., Sun, H., Gao, M., Wang, Q., & Wu, C. (2022). Bioconversion of biowaste into renewable energy and resources: A sustainable strategy. *Environmental Research*, 214, 113929.
- Yani, M., Charlena, C., Mas'ud, Z. A., Anas, I., Setiadi, Y., & Syakti, A. D. (2020). Isolation, selection and identification of polyaromatic hydrocarbons (PAHs) degrading bacteria from heavy oil waste (HOW)-contaminated soil. *Journal of Environmental Sciences*, 48(1), 113–125.
- Yetti, E., Thontowi, A., & Yopi. (2016). Polycyclic aromatic hydrocarbon degrading bacteria from the Indonesian marine environment. *Biodiversitas*, 17(2), 857–864.

BAB 4

APLIKASI DAN INOVASI BIOTEKNOLOGI INDUSTRI DI INDONESIA

Oleh Arina Amalia Putri

4.1 Pendahuluan

Bioteknologi adalah cabang ilmu pengetahuan yang memiliki banyak aspek kajian di berbagai bidang yaitu bioteknologi kesehatan dan medis (*red biotechnology*), bioteknologi pertanian (*green biotechnology*), bioteknologi industri (*white biotechnology*), bioteknologi kelautan (*blue biotechnology*), bioteknologi pangan, dan lingkungan. Salah satu bidang bioteknologi yaitu *white biotechnology* (bioteknologi industri) telah dilaporkan berkembang pesat di Indonesia melalui produk-produk bioteknologi yang telah berhasil diproduksi dan dikomersialisasi. Bioteknologi industri berfokus pada pemanfaatan makhluk hidup seperti mikroorganisme, enzim, atau sel hidup untuk memproduksi produk-produk berbasis bioteknologi (seperti bahan bakar, bahan pangan, enzim, bahan kimia, dan senyawa lainnya) dalam skala industri (bioproses). Aplikasi bioteknologi pada bidang industri dapat meningkatkan efisiensi produksi, mengembangkan proses atau produk manufaktur baru yang lebih berkualitas dan ekonomis, serta mengurangi dampak lingkungan dari proses industri (Gupta *et al.* 2017). Pada bab ini akan dibahas tentang contoh-

contoh produk bioteknologi industri yang telah dikembangkan di Indonesia.

4.2 Bioetanol sebagai Sumber Bahan Bakar Alternatif

Bioetanol adalah sumber bahan bakar yang diproduksi dari biomassa yang tersedia di alam seperti bahan lignoselulosa (misalnya jerami, kayu, bagas), bahan berpati (misalnya jagung, gandum, barley), dan bahan berbasis gula (misalnya molase, bit gula, tebu). Konversi biomassa menjadi bioetanol dilakukan oleh mikroorganisme melalui proses fermentasi. Beberapa mikroorganisme yang dapat memproduksi bioetanol yaitu *Zymomonas mobilis*, *Escherichia coli*, dan jenis *yeast* yaitu *Saccharomyces cerevisiae*. *S. cerevisiae* paling umum digunakan untuk produksi bioetanol karena toleransinya terhadap pH rendah, suhu tinggi, etanol, dan inhibitor. *S. cerevisiae* mampu memanfaatkan berbagai disakarida (seperti sukrosa dan maltosa) serta heksosa (seperti glukosa, manosa, dan galaktosa). Selain itu, *S. cerevisiae* tidak terpengaruh oleh infeksi bakteriofag (Hawaz *et al.* 2024).

Penggunaan bioetanol sebagai sumber bahan bakar alternatif dapat mendukung upaya pengurangan ketergantungan terhadap bahan bakar fosil, peningkatan ketahanan energi nasional, pengurangan emisi gas rumah kaca, dan mendorong riset inovasi energi terbarukan. Pemerintah Indonesia telah berupaya merealisasikan penggunaan bioetanol sebagai campuran bahan bakar transportasi sehingga diharapkan dapat mengurangi impor BBM nasional, meningkatkan GDP, dan berkontribusi pada penurunan emisi dalam jangka panjang. Implementasi bioetanol sebagai campuran bahan bakar minyak (BBM) telah dimulai oleh Pertamina melalui peluncuran produk Pertamina Green 95 pada tahun 2023. Berdasarkan Peraturan Menteri ESDM Nomor 12 tahun 2015, Pertamina Green 95

merupakan bahan bakar yang diberikan campuran bioetanol sebesar 5% (E5), dan diharapkan terus ditingkatkan hingga 20% (E20) pada tahun 2025. Pertamina Green 95 merupakan campuran Pertalite dengan nilai angka oktan (RON) 90 dengan bioetanol yang memiliki nilai oktan (RON) 128. Pencampuran 95% Pertalite dengan 5% Bioetanol akan menghasilkan produk bensin dengan RON 92 atau setara dengan Pertamina. Produk ini telah dijual di 5 SPBU Jakarta dan 10 SPBU Surabaya (Martedi *et al.* 2024).



Gambar 18. Pertamina Green 95 telah tersedia di beberapa SPBU di Indonesia sejak 2023

Sumber: <https://www.cnbcindonesia.com/>

Suplai bioetanol diupayakan berasal dari produksi lokal sehingga dapat meningkatkan lapangan pekerjaan dan kesejahteraan industri lokal. Saat ini, perusahaan yang memungkinkan menjadi penyuplai bioetanol *fuel grade* untuk kebutuhan implementasi program gasohol adalah PT ENERO dan PT Molindo yang terletak di Jawa Timur. Selain itu, Pertamina New & Renewable Energy (NRE) bersama PT Sinergi Gula Nusantara (SGN) sepakat untuk bekerja sama membangun pabrik bioetanol di Glenmore, Kabupaten Banyuwangi, Jawa Timur, dengan memanfaatkan bahan baku molase (produk

samping dari pengolahan tebu untuk gula). Pabrik bioetanol ini direncanakan memiliki kapasitas produksi sebesar 100 kilo liter per hari (KLPD) (Pertamina, 2024).

Molase tebu merupakan bahan baku generasi pertama yang digunakan untuk memproduksi bioetanol (1G). Molase mengandung 60% sukrosa yang terhidrolisis menjadi glukosa dan fruktosa selama proses fermentasi (Hawaz *et al.* 2024). Terdapat 4 generasi pada sumber pengolahan Bahan Bakar Nabati (BBN) yaitu

- 1G adalah BBN yang dihasilkan dari sumber pangan, seperti tebu, jagung, atau sawit.
- 2G adalah BBN dari produk limbah tanaman yang tidak dapat dikonsumsi seperti gabah, limbah cair kelapa sawit, atau produk sisa pangan.
- 3G adalah BBN dari alga (makroalga dan mikroalga)
- 4G adalah BBN dari rekayasa genetika. BBN 4G merupakan BBN dengan emisi karbon negatif karena menyerap emisi.

Peneliti dan industri sedang berupaya untuk memproduksi BBN dari sumber non-pangan, untuk mengatasi permasalahan pangan vs bahan bakar (*food vs fuel*). Salah satu upaya yang dilakukan oleh Pertamina yaitu memproduksi bioetanol dari bahan dasar Sorgum. Pertamina telah memproduksi sebanyak 150 Liter bioetanol dari sampah batang tanaman Sorgum. Proses produksi bahan bakar nabati tersebut menggunakan peralatan distilasi dan dehidrasi di fasilitas Laboratorium Technology Innovation milik Pertamina. Langkah Pertamina selanjutnya adalah melakukan peningkatan produksi bioetanol dari skala laboratorium ke skala yang lebih besar menggunakan biomassa dari Sorgum.

4.3 Biogas

Biogas diproduksi dari bahan organik dalam kondisi tanpa oksigen atau yang biasa disebut digesti anaerobik oleh mikroorganisme. Proses ini akan menghasilkan campuran biogas yaitu CH_4 (60%), CO_2 (35–40%), dan gas-gas lainnya seperti H_2 , NH_3 and H_2S sesuai dengan bahan baku organiknya. Dekomposisi bahan organik umumnya terjadi dalam empat tahap reaksi, yaitu hidrolisis, asamogenesis, asetogenesis, dan metanogenesis.

Tahap pertama yaitu hidrolisis molekul organik besar oleh mikroorganisme untuk membentuk komponen yang lebih kecil yang larut dalam air. Komponen yang larut dalam air ini kemudian diubah menjadi beberapa senyawa selama asamogenesis seperti asam lemak rantai pendek, alkohol, dan CO_2 . Pada tahap ketiga, asam lemak diubah lebih lanjut menjadi asam asetat, H_2 , dan CO_2 , yang kemudian diubah lebih lanjut menjadi CH_4 dan lebih banyak CO_2 selama tahap metanogenesis.



Gambar 19. Pembuatan BioMiru

Sumber: Indonesia Domestic Biogas Program, 2019

Implementasi teknologi biogas pertama kali dilakukan di Indonesia pada tahun 1980 yang merupakan proyek dari *Food and Agriculture Organization* (FAO). Sejak itu, telah banyak proyek serupa untuk mengeksplorasi dan memanfaatkan potensi aplikasi biogas sebagai sumber energi alternatif oleh pemerintah Indonesia di beberapa provinsi seperti Sumatera Selatan, Jawa Timur, Jawa Tengah, Jawa Barat, dan Nusa Tenggara Timur. Indonesia memiliki potensi besar untuk

produksi bioenergi berkelanjutan dari limbah hewan. Populasi ternak yang besar di negara ini dapat digunakan sebagai sumber utama bahan baku organik yang dibutuhkan untuk produksi biogas.

Salah satu contoh program aplikasi biogas adalah BioMiRu (Biogas Mini Rumahan) adalah teknologi biogas skala kecil yang dikembangkan oleh Yayasan Rumah Energi untuk mengolah limbah organik rumah tangga, seperti sisa makanan dan sayuran, menjadi biogas (Gambar 2). Teknologi ini dirancang sebagai alternatif hemat energi yang dapat menggantikan LPG di rumah tangga. Selain menghasilkan energi bersih, ampas pengolahannya (bio-slurry) dapat digunakan sebagai pupuk organik untuk bercocok tanam.

Meskipun potensi besar produksi biogas dari limbah hewan sebagai sumber energi berkelanjutan dan sebagai salah satu solusi untuk pengelolaan limbah hewan, penyebaran teknologi tersebut masih rendah di Indonesia. Beberapa hambatan yang umum dihadapi dalam implementasi operasi biogas skala kecil dan besar adalah hambatan ekonomi, teknis, politik, kelembagaan, dan sosial (Indonesia Domestic Biogas Program, 2019).

4.4 Enzim

1. Protease

Protease adalah enzim yang dapat memecah ikatan peptida pada polipeptida atau protein melalui reaksi hidrolisis. Enzim protease banyak digunakan untuk industri kulit pakaian, tekstil, farmasi, makanan, dan minuman. Produksi enzim protease biasanya didapatkan dari mikroorganisme seperti bakteri. Upaya untuk mengisolasi dan memproduksi enzim protease dari strain-strain lokal di

Indonesia terus diupayakan sehingga dapat meningkatkan produktivitas kegiatan industri dan menekan biaya produksi.

Penelitian oleh Natsir *et al.* (2024) melaporkan bahwa enzim protease dapat diisolasi dari bakteri yang ditemukan pada sedimen laut di Pantai Losari, Makasar, Sulawesi Selatan. Bakteri yang ditemukan telah berhasil diidentifikasi yaitu *Vibrio alginolyticus* strain NRBC 15630 yang mampu menghidrolisis substrat susu skim dan kasein pada suhu 40°C. Hal ini dapat menjadi prospek untuk pengembangan enzim protease pada industri pengolahan makanan.



Gambar 20. Petrozyme 01 sebagai produk protease pertama di Indonesia oleh PT. Petrosida-Gresik yang merupakan *bating agent* untuk mempercepat dan meningkatkan masuknya bahan kimia pada industri kulit sintetis
Sumber: www.petrosida-gresik.com

Salah satu kelemahan dari enzim protease adalah ketidakstabilannya pada suhu tinggi. Oleh karena itu, Fachrial *et al.* (2021) telah berhasil mengisolasi enzim protease dari bakteri termofilik sehingga didapatkan enzim protease dalam bentuk yang stabil pada suhu tinggi. Bakteri

penghasil protease ini diperoleh dari sumber air panas alami Dolok Tinggi Raja, Sumatera Utara dengan temperatur 45-70°C. Bakteri penghasil protease suhu tinggi ini juga telah berhasil diidentifikasi yaitu *Bacillus paralicheniformis* strain A30103 yang memiliki aktivitas protease 23.67 U/mL. Selain itu, telah dilaporkan juga oleh Ulfah *et al.* (2011), bahwa bakteri yang diisolasi dari sumber air panas alami di daerah Cimanggu, Jawa Barat, juga memiliki aktivitas enzim protease. Bakteri tersebut yaitu *Bacillus halodurans* C-125 yang dapat menghasilkan enzim protease pada suhu 60 °C dan pH 8.

2. Lipase

Lipase adalah enzim yang tergolong kelompok enzim karboksilik hidrolase yang dapat mengkatalis reaksi hidrolisis dan sintesis grup ester. Enzim ini sangat penting untuk aplikasi di bidang industri seperti industri makanan, deterjen, farmasi, kosmetik, dan bioremediasi (Nur *et al.* 2023). Pengembangan enzim lipase di Indonesia cukup pesat yaitu terkait eksplorasi strain-strain bakteri yang mampu memproduksi enzim lipase dan karakter unggul yang diharapkan dapat diterapkan pada produksi enzim lipase seperti stabilitas pada suhu tinggi dan kondisi asam (pH rendah).

Untuk memperoleh karakter enzim lipase yang lebih stabil pada suhu tinggi dan pH rendah, maka dilakukan isolasi enzim lipase dari bakteri yang hidup di lingkungan ekstrim. Penelitian oleh Febriani *et al.* (2014) berhasil mengekstrak enzim lipase dari isolat bakteri *Thermus aquaticus* yang diisolasi dari sumber air panas alami Kamojang, Jawa Barat. Aktivitas enzim lipase tertinggi yaitu 19.46 unit/mg protein pada suhu 65°C, pH 8. Karakter enzim lipase yang stabil terhadap suhu tinggi ini akan

meningkatkan efisiensi produksi di industri karena dapat mengurangi waktu reaksi dan mengurangi dampak kontaminasi mikroba dalam proses produksi.

Selain karakter stabilitas pada suhu tinggi, pengembangan karakter lipase lainnya yaitu kemampuan untuk bertahan dalam kondisi pH rendah. Penelitian oleh Nur *et al.* (2023) berhasil mengekstrak lipase yang tahan terhadap pH rendah yaitu 5 dari isolat bakteri *Micrococcus luteus* EMP48-D yang ditemukan di produk lokal Indonesia yaitu tempe. Enzim lipase ini bekerja optimum pada suhu 30–40 °C, dan bahkan masih aktif di suhu tertinggi yaitu 80°C.

Lipase juga dapat diproduksi dari bakteri yang diisolasi dari limbah yaitu dari pabrik pengolahan limbah lumpur kelapa sawit di daerah Malimping, Banten, Jawa Barat (Layly *et al.* 2021). Bakteri yang memproduksi lipase tersebut adalah *Chryseobacterium gleum* dan *Bacillus velezensis*. Tidak hanya bakteri, lipase juga dapat diproduksi oleh *yeast*. Palilu *et al.* (2019) melaporkan bahwa lipase diperoleh dari *yeast Zygosaccharomyces mellis* yang diisolasi dari madu hutan dari Sulawesi Tengah dengan produksi lipase sebesar 24.56 ± 1.30 U/mg biomassa.

3. Selulase

Selulase adalah enzim yang mampu menghidrolisis ikatan β (1-4) pada selulosa sehingga banyak digunakan di bidang industri utamanya pada industri kertas, pangan, tekstil, dan pengolahan limbah (Abdullah *et al.* 2018). Beberapa penelitian telah berhasil mengekstrak selulase dari bakteri pada limbah ampas kopi (Brahmanti *et al.* 2021), pakan ternak (Isnawati *et al.* 2019), bakteri tanah di Mamasa, Sulawesi Barat (Putri & Setiawan, 2018), dan bakteri yang hidup di lingkungan ekstrim yaitu

Anoxybacillus flavithermus TP-01 dari sumber air panas Gunung Pancar, Bogor, Jawa Barat (Sanjaya *et al.* 2024). Selain dari bakteri, selulase juga dapat diperoleh dari fungi seperti pada penelitian yang telah dilaporkan oleh Saryono *et al.* (2022), selulase didapatkan dari *Aspergillus* sp. dan *Penicillium* sp. Isolat fungi ini diperoleh dari sumber air panas Sungai Pinang, Riau. Aktivitas selulase setelah 96 hari dapat mencapai 8.0×10^{-3} IU/mg protein.

4.5 Bahan Pangan dan Minuman

1. Keju

Keju merupakan produk hasil olahan susu dari proses koagulasi protein pada susu yaitu kasein. Indonesia kaya akan beragam jenis keju. Produksi produk keju di Indonesia banyak yang masih dilakukan secara tradisional. Beberapa contoh produk keju olahan tradisional yaitu *Dali Ni Horbo* (Tapanuli, Sumatra Utara), *Gulo Puan* (Palembang, Sumatra Selatan), *Dadiah* (Sumatra Barat), dan *Dangke* (Enrekang, Sulawesi Selatan). *Dangke* merupakan jenis keju yang memiliki tekstur lunak yang dibuat dengan memanaskan susu hingga mendidih. Pada umumnya keju seperti *cheddar* menggunakan enzim rennet sebagai koagulan, namun *Dangke* menggunakan enzim papain sebagai koagulan. Enzim ini berasal dari getah pepaya. (Rahman *et al.* 2023). Penggumpalan protein pada susu untuk menghasilkan keju dilakukan oleh mikroorganisme. Beberapa bakteri yang berhasil diisolasi dari keju *Dangke* yaitu *Lactobacillus lactis*, *Lactobacillus bulgaricus*, *Leuconostoc dextranicum*, dan *Streptococcus thermophilus* (Zakariah *et al.* 2019).

Salah satu aplikasi bioteknologi pada industri keju yaitu penggunaan *edible coating* yang dapat memperpanjang masa simpan produk keju. *Edible coating* adalah

penambahan lapisan tipis yang dapat dimakan pada permukaan keju untuk melindungi produk, memperpanjang masa simpan, dan meningkatkan kualitas rasa tanpa memengaruhi keamanan atau kepraktisan konsumsinya. Penambahan *edible coating* pada *Dangke* telah dilaporkan dapat memperpanjang masa penyimpanan, mempertahankan tekstur, dan memberikan aroma yang lebih enak. *Edible coating* yang digunakan adalah *bee wax*, CMC, dan agar (Malaka *et al.* 2017). Selain penambahan *edible coating*, penambahan bakteri asam laktat juga dapat meningkatkan kualitas pada *Dangke*. Penelitian oleh Zakariah *et al.* (2022) melaporkan bahwa penambahan bakteri *Streptococcus lutetiensis*, *Weissella confusa*, dan *Streptococcus equines* dapat memperpanjang masa penyimpanan *Dangke*.



Gambar 21. *Dangke* sebagai hidangan utama pada acara penting di daerah Enrekang, Sulawesi Selatan (a) dan dapat disajikan dengan dipanggang (b)

Sumber: (Rahman *et al.* 2023)

2. Kombucha

Kombucha adalah minuman the hasil fermentasi dari kombinasi bakteri dan *yeast* atau SCOBY (*Symbiotic Culture of Bacteria and Yeast*). Kombucha banyak memberikan manfaat untuk kesehatan yaitu sumber antioksidan, dapat

mengontrol gula darah, meningkatkan sistem imun, dan detoksifikasi. Industri kombucha di Indonesia sedang berkembang pesat seiring dengan meningkatnya kesadaran masyarakat akan gaya hidup sehat dan konsumsi produk alami.

Beberapa penelitian telah melaporkan bahwa untuk meningkatkan kualitas Kombucha dapat dilakukan dengan eksplorasi agen fermentatif yang dapat meningkatkan produksi senyawa antioksidan pada Kombucha. Penelitian yang dilakukan oleh Apridamayanti dan Sari (2024) melaporkan bahwa penggunaan bakteri *Lactobacillus plantarum* pada daun *Aquilaria malaccensis* dapat menghasilkan senyawa antioksidan yang tinggi yaitu senyawa fenol sebesar 36.346 mg/g GAE, dan senyawa flavonoid sebesar 3.876 ± 0.317 mg/g QE. Selain mengganti bakteri fermentatif pada Kombucha, peningkatan kualitas Kombucha juga dapat dilakukan dengan mengeksplorasi penggunaan *yeast*. Misalnya, penggunaan tapai *yeast* dan *baker yeast* pada fermentasi Kombucha (Urbahilah *et al.* 2021).

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah B, Maftukhah S, Listyaningrum E, Faradhiba F. 2018. Effect of some variable in cellulase production by *Aspergillus niger* ITBCC L74 using solid state fermentation. *IOP Conf Ser Mater Sci Eng.* 316(1). doi:10.1088/1757-899X/316/1/012066
- Apridamayanti P, Sari R. 2024. Tea fermentation of *A. malacensis* with *Lactobacillus plantarum* as a starter: In vitro study as a functional drink: Studi in vitro sebagai minuman fungsional. *Indonesian Journal of Pharmaceutical Science and Technology.*11(1).
- Brahmanti AA, Martati E, Wardani AK. 2021. Exploring cellulolytic microorganisms from coffee industry by-products and their enzyme properties. *IOP Conf Ser Earth Environ Sci.* 924(1). doi:10.1088/1755-1315/924/1/012075.
- Fachrial E, Krisdianilo V, Harmileni, Lister INE, Nugroho TT, Saryono. 2021. Isolation, characterization, activity test and molecular identification of thermophilic bacteria producing proteases from Dolok Tinggi Raja natural hot springs, North Sumatra, Indonesia. *Biodiversitas.* 22(4):1725–1732. doi:10.13057/biodiv/d220416.
- Febriani, Ihsanawat, Hertadi R, Madayanti F, Akhmaloka. 2013. Thermostable alkaline lipase isolated from thermus aquaticus. *Int J Integr Biol.* 14(2):104–112.
- Gupta, V., Sengupta, M., Prakash, J., Tripathy, B.C. (2017). *An Introduction to Biotechnology*. In: Basic and Applied Aspects of Biotechnology. Springer: Singapore. doi.org/10.1007/978-981-10-0875-7_1.

- Hawaz E, Tafesse M, Tesfaye A, Kiros S, Beyene D, Kebede G, Boekhout T, Groenwald M, Theelen B, Degefe A, et al. 2024. Bioethanol production from sugarcane molasses by co-fermentation of *Saccharomyces cerevisiae* isolates TA2 and *Wickerhamomyces anomalus* isolate HCJ2F-19. *Ann Microbiol.* 74(1). doi:10.1186/s13213-024-01757-8.
- Indonesia Domestic Biogas Program. 2019. *Indonesia Domestic Biogas Program: Annual Report*. Jakarta: Yayasan Rumah Energi.
- Isnawati I, Ni'matuzahroh, Surtiningsih T. 2020. Cellulolytic fungi isolation and identification from fermentoge, cattle feed composed of fermented water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) and Corn (*Zea mays*) Cob. *J Phys Conf Ser.* 1569(4):1–7. doi:10.1088/1742-6596/1569/4/042082.
- Layly IR, Meryandini A, Helianti I, Astuti RI. 2021. Identification of lipase producing bacteria from palm oil sewage sludge processing plant at malimping, banten, indonesia. *Biodiversitas.* 22(10):4512–4524. doi:10.13057/biodiv/d221045.
- Malaka R, Hatta W, Baco S. 2017. Evaluation of using edible coating and ripening on dangke, a traditional cheese of Indonesia. *FoodRes.* 1(2):51–56. doi:10.26656/fr.2017.2.006.
- Martedi, W, Henny T, Ahmad FS. 2024. Akselerasi pengurangan emisi gas rumah kaca di sektor transportasi melalui penyediaan bahan bakar nabati. *Buletin Pertamina Energy Institute.* 10 (1).
- Natsir, H. Ahyar A, Nasrum M, Paulina T, Anita, Wahyudin R. 2024. Isolation, production of protease, and antimicrobial activities from marine sediment gamma - proteobacteria of mbs-l3 isolate. *Research Journal of Pharmacy and Technology.* 17(6):2855-2. doi: 10.52711/0974-360X.2024.00448.

- Nur N, Suwanto A, Meryandini A, Suhartono MT, Puspitasari E, Kim HK. 2023. Cloning and characterization of an acidic lipase from a lipolytic bacterium in tempeh. *J Genet Eng Biotechnol*. 21(1). doi:10.1186/s43141-023-00611-9.
- Palilu PT, Kasiamdari RS, Ilmi M. 2019. Potential yeast from Indonesian wild forest honey showing ability to produce lipase for lipid transesterification. *Microbiol Biotechnol Lett*. 47(4):555–564. doi:10.4014/mbl.1907.07008.
- Pertamina. 2024. “Pertamina NRE Siap Bangun Pabrik Bioetanol, Optimalkan Sumber Daya Domestik”. 06/09/2024.
- Putri AL, Setiawan R. 2019. Isolation and screening of actinomycetes producing cellulase and xylanase from Mamasa soil, West Sulawesi. *IOP Conf Ser Earth Environ Sci*. 308(1):1–7. doi:10.1088/1755-1315/308/1/012035.
- Rahman S, Lasumange, Yunus A. 2023. Historical overview and contribution of Dangke as traditional food to income and public health. *Food Res*. 7(5):245–250. doi:10.26656/fr.2017.7(5).964.
- Sanjaya RE, Puspaningsih NNT, Rohman A, Rahmasari H, Illias RM, Jantarit N, Fujiyama K, Pratama A, Khairunnisa F. 2024. Production and diversity analysis of cellulases from *Anoxybacillus* genus. *Biodiversitas*. 25(6):2705–2718. doi:10.13057/biodiv/d250641.
- Saryono, Novianty R, Suraya N, Piska F, Devi S, Pratiwi NW, Ardhi A. 2022. Molecular identification of cellulase-producing thermophilic fungi isolated from Sungai Pinang hot spring, Riau Province, Indonesia. *Biodiversitas*. 23(3):1457–1465. doi:10.13057/biodiv/d230333.
- Ulfah M, Helianti I, Wahyuntari B, Nurhayati N. 2011. Characterization of a New Thermoalkalophilic Xylanase-Producing Bacterial Strain Isolated from Cimanggu Hot Spring, West Java, Indonesia. *Microbiol Indones*. 5(2):139–143. doi:10.5454/mi.5.3.7.

- Urbahillah A, Jayus J, Nurhayati N. 2021. Improving scoby starters using co-culture of tapai and bakery yeast. *Biodiversitas*. 22(10):4617-4624. doi:10.13057/biodiv/d221055.
- Zakariah MA, Malaka R, Laga A, Ako A. 2019. Isolation and identification of lactic acid bacteria from dangke a white soft traditional cheese from enrekang regency. *Int J Recent TechnolEng*.8(2):4148-4151.doi:10.35940/ijrte.B3160.078219.
- Zakariah MA, Malaka R, Laga A, Ako A, Zakariah M, Mauliah FU. 2022. Quality and storage time of traditional dangke cheese inoculated with indigenous lactic acid bacteria isolated from Enrekang District, South Sulawesi, Indonesia. *Biodiversitas*. 23(6):3270-3276. doi:10.13057/biodiv/d230656.

BAB 5

BIOTEKNOLOGI PERTANIAN DI INDONESIA: POTENSI DAN TANTANGAN

Oleh Maulidi Firlandiana

5.1 Pendahuluan

Indonesia dikenal sebagai negara dengan keanekaragaman hayati yang sangat tinggi. Selain itu, Indonesia menjadi negara dengan sumber daya alam yang sangat melimpah. Lebih dari 25.000 spesies tanaman asli tercatat di Indonesia. Oleh karena itu, Indonesia memiliki potensi besar untuk pengembangan bioteknologi di bidang pertanian, baik untuk pengembangan tanaman unggul maupun bioprospeksi dalam rangka terciptanya produk-produk baru yang dapat meningkatkan ketahanan pangan dan keberlanjutan pertanian. Potensi ini belum sepenuhnya dimanfaatkan, meskipun beberapa penelitian serta aplikasi bioteknologi telah dilakukan. Pada bab ini, akan dibahas karakteristik sumber daya hayati di Indonesia serta pengembangan berbagai aplikasi bioteknologi pada bidang pertanian.

5.2 Keanekaragaman Hayati Indonesia

Indonesia terletak di kawasan tropis yang memiliki berbagai ekosistem yang kaya dan beragam, termasuk hutan hujan tropis, padang rumput, dan pesisir laut. Keanekaragaman

hayati ini mencakup ribuan spesies tanaman, mikroorganisme, dan hewan, yang memiliki potensi besar dalam pengembangan teknologi pertanian yang inovatif.

1. **Tanaman Lokal:** Indonesia memiliki berbagai jenis tanaman endemik dan varietas lokal yang berpotensi untuk dikembangkan, seperti padi, jagung, ubi jalar, singkong, dan berbagai jenis rempah (seperti jahe, kunyit, dan lada).
2. **Mikroorganisme:** Berbagai mikroorganisme yang ditemukan di Indonesia, seperti bakteri, jamur, dan alga, memiliki potensi dalam aplikasi bioteknologi untuk meningkatkan kualitas tanah, mengendalikan hama, dan memproduksi biofertilizer atau biopestisida.
3. **Keanekaragaman Genetik:** Keanekaragaman genetik dalam tanaman dan mikroorganisme lokal menawarkan peluang untuk rekayasa genetika dan pemuliaan molekuler untuk menciptakan varietas tanaman yang lebih tahan terhadap penyakit, perubahan iklim, dan meningkatkan hasil pertanian.

5.3. Sumber Daya Hayati yang Berpotensi di Indonesia

5.3.1. Tanaman Pangan Lokal

Indonesia memiliki banyak varietas tanaman pangan yang belum banyak dikenal di dunia internasional, namun memiliki potensi besar dalam pengembangan bioteknologi pertanian.

- **Padi:** Padi merupakan tanaman utama di Indonesia yang memiliki banyak varietas lokal yang dapat diadaptasi dengan berbagai kondisi lingkungan. Dengan bioteknologi, seperti rekayasa genetika, ketahanan terhadap penyakit dan hama, serta ketahanan terhadap kekeringan, dapat ditingkatkan (Marbun, 2024).

- **Jagung:** Jagung adalah sumber pangan penting yang juga memiliki potensi besar dalam pengembangan bioteknologi untuk meningkatkan hasil dan ketahanannya terhadap faktor lingkungan. Beberapa penelitian telah berhasil menciptakan varietas jagung yang lebih tahan terhadap hama (Agustina, 2017) dan penyakit (Hendrayana et al., 2020).
- **Ubi Jalar dan Singkong:** Tanaman ubi jalar dan singkong memiliki potensi besar sebagai sumber pangan alternatif yang lebih tahan terhadap kekeringan dan tumbuh di berbagai kondisi tanah. Pemuliaan tanaman dan rekayasa genetik dapat meningkatkan hasil dan kandungan gizi tanaman ini (Avivi et al., 2020).

5.3.2 Rempah-rempah

Indonesia dikenal sebagai negara penghasil rempah-rempah dunia. Beberapa rempah, seperti jahe, kunyit, lada, dan cengkeh, memiliki nilai ekonomi tinggi dan potensi untuk dikembangkan melalui bioteknologi.

- **Jahe dan Kunyit:** Tanaman jahe dan kunyit mengandung senyawa bioaktif seperti kurkumin yang memiliki manfaat kesehatan. Dengan bioteknologi, proses perbanyakan tanaman dapat dipercepat dan kandungan senyawa aktif dapat ditingkatkan (Setiawan et al., 2022).
- **Lada:** Lada merupakan komoditas ekspor penting Indonesia. Melalui bioteknologi, seperti pemuliaan molekuler dan rekayasa genetik, kualitas dan hasil lada dapat ditingkatkan untuk memenuhi permintaan pasar internasional.

5.3.3 Mikroorganisme untuk Pertanian

Indonesia juga kaya akan mikroorganisme yang berpotensi digunakan dalam bioteknologi pertanian. Beberapa mikroorganisme yang bermanfaat antara lain:

- **Bakteri Pemfiksasi Nitrogen:** Beberapa spesies bakteri, seperti *Azotobacter* dan *Rhizobium*, dapat membantu tanaman dalam memperoleh nitrogen dari udara, sehingga mengurangi ketergantungan pada pupuk kimia.
- **Jamur Mikoriza:** Jamur mikoriza memiliki kemampuan untuk meningkatkan daya serap tanaman terhadap air dan unsur hara dari tanah. Penggunaan jamur mikoriza dalam pertanian dapat meningkatkan kesuburan tanah secara alami (Sasli dan Abdurrahman, 2024).
- **Biopestisida dan Biofertilizer:** Mikroorganisme seperti bakteri *Bacillus thuringiensis* dan berbagai jenis jamur patogen dapat digunakan untuk mengendalikan hama dan penyakit tanaman secara biologis, menggantikan pestisida kimia yang berdampak buruk pada lingkungan.

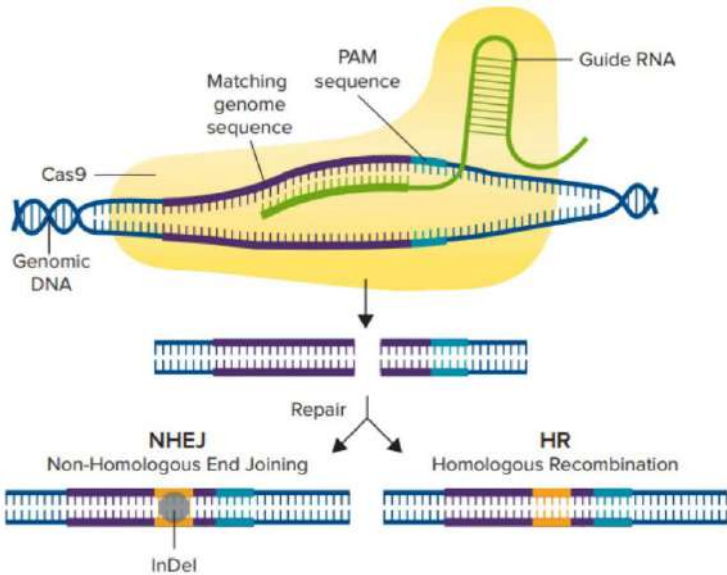
5.4 Penelitian Bioteknologi Pertanian Terbaru

Berikut adalah beberapa area dan contoh penelitian bioteknologi pertanian terbaru yang dikembangkan di Indonesia:

5.4.1 Penerapan CRISPR dalam Pemuliaan Tanaman

Teknologi CRISPR-Cas9 telah diadopsi di Indonesia untuk meningkatkan ketahanan tanaman terhadap hama, penyakit, dan perubahan iklim. Sebagai contoh, penelitian terbaru di Institut Pertanian Bogor (IPB) yang menggunakan CRISPR untuk memodifikasi gen pada padi agar lebih tahan terhadap kondisi kekeringan yang semakin meningkat di Indonesia. Upaya ini

tentunya diharapkan dapat meningkatkan produksi padi di Indonesia. Padi Kultivar Hawara Bunar yang telah toleran masam, akan ditingkatkan kemampuan toleransinya terhadap cekaman kekeringan. Teknologi CRISPR-Cas9 memungkinkan dilakukannya pengeditan gen ROC5, yaitu gen yang terlibat dalam penggulungan daun (Maharani et al., 2024).

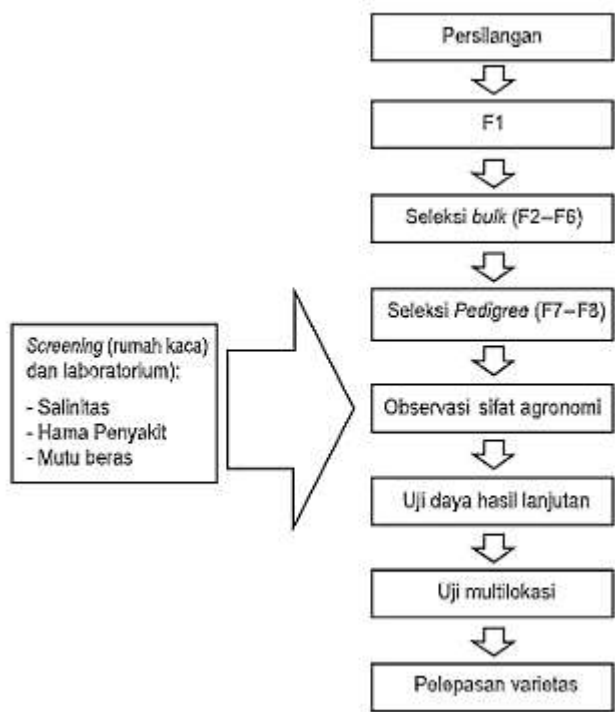


Gambar 22. Mekanisme *Gene Editing* atau CRISPR-Cas9
Sumber: Molecular Devices, 2024

5.4.2 Pemuliaan Tanaman untuk Ketahanan Pangan

Aplikasi bioteknologi pertanian selanjutnya dapat menghasilkan varietas tanaman unggul dengan hasil yang lebih tinggi dan tahan terhadap kondisi lingkungan ekstrim. Latar belakang tersebut mendorong Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian (Balitbangtan) untuk mengembangkan padi varietas baru yang lebih produktif dan tahan terhadap kekeringan dan salinitas. Hasil dari penelitian ini

bertujuan untuk meningkatkan ketahanan pangan di wilayah pesisir yang terpengaruh oleh intrusi air laut (Hairmansis & Nafisah, 2020).

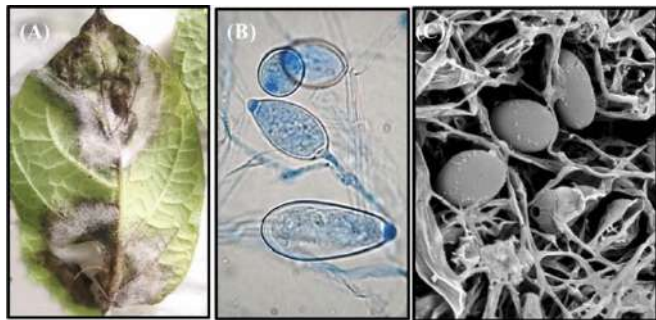


Gambar 23. Skema Perakitan Varietas Padi Toleran Salinitas Menggunakan Kombinasi Metode Bulk dan Pedigree.
Sumber: Hairmansis & Nafisah, 2020

5.4.3 Tanaman Transgenik untuk Ketahanan Terhadap Hama dan Penyakit

Tanaman transgenik untuk ketahanan terhadap hama dan penyakit salah satunya bertujuan untuk mengurangi penggunaan pestisida sintetis. Penggunaan pestisida sintetis tersebut kerap memberikan dampak negatif bagi lingkungan seperti resistensi hama maupun kerusakan tanah (sifat fisik,

kimia, dan biologi tanah). Peneliti telah banyak yang mengembangkan tanaman transgenik tahan hama atau penyakit. Penelitian terbaru telah dikembangkan tanaman kentang yang resisten terhadap penyakit yang disebabkan oleh jamur *Phytophthora infestans* (Hadiarto dan Ambarwati, 2024). Hal ini dilakukan dengan mengekspresikan gen RB secara berlebihan, sebuah gen resistensi yang diisolasi dari spesies kentang liar *Solanum bulbocastanum*, pada kultivar lokal Granola.

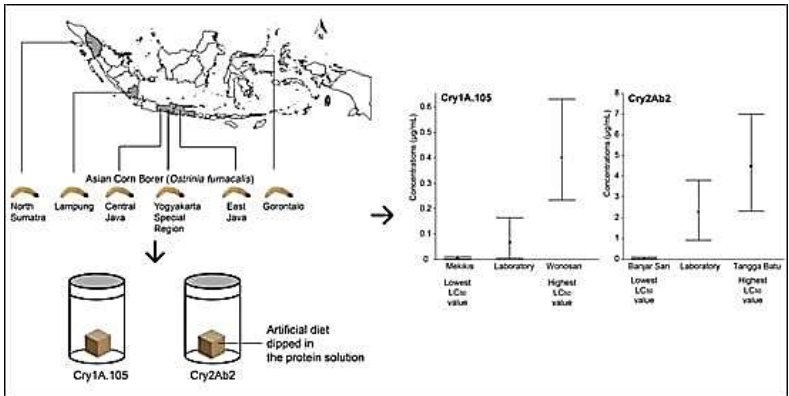


Gambar 24. (A) Uji patogenisitas *P. infestans* yang menunjukkan gejala penyakit busuk daun pada daun kentang Mikrografi *P. infestans* yang menunjukkan sporangia di bawah (B) Mikroskop cahaya dan (C) Mikroskop elektron

Sumber: Al Harethi et al., 2023

Peneliti juga telah mengembangkan tanaman jagung BT (*Bacillus thuringiensis*) transgenik yang tahan terhadap hama penggerek jagung (*Ostrinia furnacalis*), yang banyak merugikan petani di Indonesia. Penggerek jagung Asia, *O. furnacalis* (Guenée), merupakan salah satu hama utama jagung (*Zea mays* Linnaeus) di Asia Tenggara, termasuk di Indonesia, Vietnam, Filipina, dan Cina. Dalam penelitian terbarunya, Trisyono et al. (2023) menilai kerentanan awal populasi *O. furnacalis* yang dikumpulkan di lapangan terhadap protein Cry1A.105 dan Cry2Ab2, sebagai bagian dari program manajemen resistensi

proaktif untuk jagung MON 89034 di Indonesia. Studi ini memberikan bukti bahwa populasi penggerek jagung Asia (*O. furnacalis*) yang dikumpulkan di lapangan di Indonesia rentan terhadap Cry1A.105 dan Cry2Ab2. Studi awal ini merupakan elemen penting untuk manajemen resistensi serangga ini terhadap jagung transgenik yang mengekspresikan protein ini.



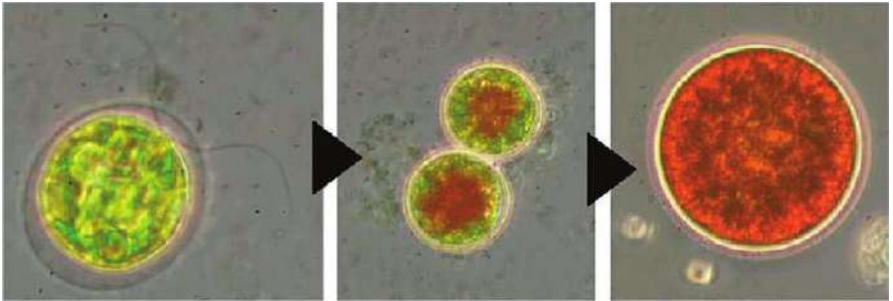
Sumber: Trisyono et al., 2023

Gambar 25. Gambaran penelitian Kerentanan Awal Populasi Lapangan *O. furnacalis* di Indonesia terhadap Protein Cry1A.105 dan Cry2Ab2 dari *B. thuringiensis*

5.4.4 Penggunaan Mikroalga untuk Pakan Ternak dan Pemupukan

Mikroalga berpotensi besar dalam bidang pertanian, salah satunya dapat dimanfaatkan sebagai pupuk organik yaitu pupuk hayati (*biofertilizer*). Penelitian yang mengembangkan mikroalga sebagai pupuk hayati berupaya untuk mengurangi penggunaan pupuk sintetis disamping dapat berdampak positif terhadap kesuburan tanah maupun produktivitas tanaman (Abinandan et al., 2019).

Penelitian terbaru dilakukan guna mengeksplorasi potensi pupuk hayati dari mikroalga dan dampaknya terhadap kelapa sawit. Pada penelitian ini digunakan formulasi biomassa kering (0,5 g/l) atau MA dan kultur cair 10% (v/v) mikroalga hijau *Haematococcus pluvialis* yang diaplikasikan ke daerah perakaran pembibitan kelapa sawit sebagai pupuk hayati. Setelah diaplikasikan, hasil menunjukkan bahwa biomassa mikroalga maupun kultur cair, baik secara tunggal maupun dikombinasikan dengan jamur *indigenous* kelapa sawit *Trichoderma* spp. memberikan pertumbuhan yang lebih baik pada tanaman kelapa sawit (Sani et al., 2022).



Sumber: Kristoffersen et al., 2012

Gambar 26. Pertumbuhan mikroalga hijau *Haematococcus pluvialis* di bawah mikroskop

5.4.5 Bioteknologi dalam Pemanfaatan Tanaman untuk Energi Terbarukan

Biomassa yang mengandung lignoselulosa dapat berasal dari limbah industri pertanian, limbah industri peternakan, limbah padat dan bahan lainnya yang merupakan sumber biomassa paling melimpah yang dapat digunakan untuk memproduksi *biofuel*. Di Indonesia, sumber yang paling melimpah adalah tandan kosong kelapa sawit, brangkasan jagung, sekam padi, jerami padi, ampas tebu dan sabut kelapa.

Pemanfaatan biomassa lignoselulosa untuk dikonversi menjadi energi membutuhkan perlakuan awal untuk mengubah interaksi antar komponen yang terdapat pada dinding sel tanaman.

Selain sumber daya yang disebutkan di atas, terdapat 1 tanaman khas yang sedang dikembangkan sebagai alternatif *biofuel* yaitu nipa (*Nypa fruticans*). Tim dari Teknik Lingkungan ITB (Institut Teknologi Bandung) mengkaji potensi dan karakteristik tanaman nipa sebagai bahan baku *biofuel* yang berkelanjutan (Prasetyo et al., 2024).



Gambar 27. Tandan buah nipa dan mesokarp

Sumber: Prasetyo et al., 2024



Gambar 28. Proses penyadapan nipa

Sumber: Prasetyo et al., 2024

Penelitian-penelitian terbaru ini menunjukkan bagaimana bioteknologi pertanian di Indonesia tidak hanya bertujuan untuk meningkatkan hasil produksi pertanian, tetapi juga untuk mengatasi tantangan global seperti perubahan iklim, ketahanan pangan, dan keberlanjutan lingkungan. Terobosan dalam bidang ini berpotensi memberikan solusi yang lebih efisien dan ramah lingkungan bagi sektor pertanian Indonesia. Sebagai tambahan, kolaborasi antara institusi akademik, pemerintah, dan sektor swasta di Indonesia sangat penting untuk mendukung penerapan bioteknologi secara luas dalam pertanian.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustina, T. 2017. Kepekaan varietas/galur jagung (*Zea mays* L.) terhadap hama *Sitophilus zeamais* Motsch. (Coleoptera: Curculionidae). *Thesis*. Universitas Brawijaya. Malang.
- Avivi, S., Sanjaya, B.R.L., Ogita, S., Hartatik, S., Soeparjono, S. 2020. Morphological, physiological and molecular responses of Indonesian cassava to drought stress. *Australian Journal of Crop Science*, 14(11), 1723-1727. DOI: <https://search.informit.org/doi/abs/10.3316/informit.797640251781816>
- Al-Harethi, A., Abdullah, Q.Y.M., Al-Jobory, H.J., Al-Aquil, S.A., Arafa, R.A. 2023. First report of molecular identification of *Phytophthora* infestans causing potato late blight in Yemen. *Scientific Reports*, 13, 16365. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-023-43510-2>
- Hadiarto, T., Ambarwati, A.D. 2024. Breeding of genetically engineered indonesian potato, Bio Granola, resistant to late blight pathogen *Phytophthora infestans*. *Potato Research*. 67, 695-709. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11540-023-09662-4>
- Hairmansis, A., NAFisah. 2020. Development of improved rice varieties for saline affected areas. *JURNAL PANGAN*, 29(2), 161-170. DOI: <http://dx.doi.org/10.33964/jp.v29i2.442>
- Hendrayana, F., Lestari, N.A., Muis, A., Azrai, M. 2020. Ketahanan beberapa varietas jagung hibrida terhadap beberapa penyakit penting jagung di Indonesia. *Jurnal Agriovet*, 3(1), 26-40. DOI: <https://doi.org/10.51158/agriovet.v3i1.419>

- Kristoffersen, A.S., Svensen, O., Ssebiyonga, N., Erga, S.R., Stamnes, J.J., Frette, O. 2012. Chlorophyll *a* and NADPH Fluorescence lifetimes in the microalgae *Haematococcus pluvisialis* (Chlorophyceae) under normal and astaxanthin-accumulating conditions. *Applied Spectroscopy*, 66(10), 1216-1225. DOI: 10.1366/12-06634
- Maharani, dkk. 2024. Konstruksi Vektor. CRISPR/Cas9 untuk Pengeditan Gen ROC5 pada Padi Kultivar Hawara Bunar. *Thesis*. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Marbun, M.Y.E., 2024. Pelestarian plasma nutfah padi untuk mendukung ketahanan pangan beras Indonesia. *JCRECO*, 1(2), 52-59. DOI: <https://doi.org/10.61511/jcreco.v1i2.1170>
- Prasetyo, C.P., Effendi, A.J., Chaerul, M. 2024. Analysis of the potential and characteristics of Nipa (*Nypa fruticans*) as a sustainable biofuel alternative source in Indonesia. *E3S Web of Conferences*, 485, 03001. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202448503001>
- Sani, I., Kurnia, Y.W., Sinthya, H.C., Anthony, R., Situmorang, E.C., utomo, C., Liwang, T. 2022. Exploring the potency of microalgae-based biofertilizer and its impact on oil palm seedlings growth. *AGRIVITA Journal of Agricultural Science*, 44(1), 139-151. DOI: <http://doi.org/10.17503/agrivita.v44i1.3102>
- Sasli, I., Abdurrahman, T. 2024. Effectiveness of mycorrhizae in tomato cultivation with nutrient stress levels in peat soil of West Kalimantan. *Indonesian Journal of Agronomy*, 52(2), 226-234. DOI: <https://dx.doi.org/10.24831/jai.v52i2.54057>
- Setiawan, E., Ardiyani, M., Miftahudin, M., Poulsen, A.D., Chikmaati, T. 2022. Genetic diversity of *Alpinia malaccensis* (burm.f.) *Roscoe* (Zingiberaceae) in Java Island, Indonesia. *SABRAO Journal of Breeding and Genetics*, 54(4), 722-732. DOI: <http://doi.org/10.54910/sabrao2022.54.4.4>

Trisyono, Y.A., Aryuwandari, V.E.F., Rahayu, T., Martinelli, S. Head, G.P., Parimi, S., Camacho, L.R. 2023. Baseline susceptibility of the field populations of *Ostrinia furnacalis* in Indonesia to the proteins Cry1A.105 and Cry2Ab2 of *Bacillus thuringiensis*. *Toxins*, 15(10), 02. DOI: 10.3390/toxins15100602

BIODATA PENULIS



Anggraini Putri Utami, S.Si., M.Si

Dosen Program Studi Bioteknologi
ITEKES Muhammadiyah Kalimantan Barat

Penulis lahir di Pontianak tanggal 9 April 1997. Penulis menyelesaikan pendidikan S-1 Jurusan Biologi Fakultas Matematika Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sebelas Maret pada tahun 2018 dan melanjutkan S-2 Bioteknologi di Institut Pertanian Bogor dan lulus pada tahun 2022. Penulis adalah dosen pada Program Studi Bioteknologi ITEKES Muhammadiyah Kalbar mata kuliah Biologi Sel. Buku ini merupakan buku kolaborasi pertama penulis.

BIODATA PENULIS



Nadia Andhini, S.Pi., M.Si.

Dosen Program Studi Teknologi Penangkapan Ikan
Sekolah Tinggi Perikanan dan Kelautan Matauli

Penulis lahir di Bukittinggi tanggal 29 Agustus 1995. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Teknologi Penangkapan Ikan, Sekolah Tinggi Perikanan dan Kelautan. Penulis tertarik terhadap ilmu Perikanan dan Kelautan dimulai pada tahun 2013. Menyelesaikan pendidikan sarjana di Universitas Riau pada Fakultas Kelautan dan Perikanan Jurusan Ilmu Kelautan tahun 2017. Melanjutkan pendidikan Megister di Institut Pertanian Bogor pada Program Studi Bioteknologi menyelesaikan pendidikan pada tahun 2022. Pengalaman sebelumnya sebagai research internship di bidang Riset di Lembaga Penelitian (BRIN) pada tahun 2020 selama 1,5 tahun. Namun saat ini penulis memilih untuk fokus mengabdikan diri sebagai Dosen dan aktif di Perguruan Tinggi di Sekolah Tinggi Perikanan dan Kelautan Matauli. Saat ini penulis diberikan tanggung jawab dalam mengajar microbiologi laut, biologi laut, bioteknologi perikanan dan penanganan hasil perikanan tangkap. Penulis memiliki kepakaran dibidang *Marine Biotechnology* (DNA *Barcoding* atau *Metagenomic*). Penulis juga berperan aktif dalam pelaksanaan penelitian dan pengabdian kepada masyarakat, saat ini penulis sedang melakukan riset terkait polikultur *caulerpa* sp dengan *Litopenaeus vannamei*.

104

Penulis juga aktif dalam menulis buku dengan harapan dapat memberikan kontribusi positif dalam ilmu pengetahuan khususnya bidang Bioteknologi.

Penulis dapat dihubungi melalui e-mail:
nadiaandhini0@gmail.com.

BIODATA PENULIS



Irfan Anwar Fauzan, S. Si., M. Si
Dosen Program Studi Bioteknologi
Universitas Diponegoro

Penulis lahir di Jakarta tanggal 13 Januari 1997. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Bioteknologi, Departemen Biologi, Universitas Diponegoro. Penulis menyelesaikan pendidikan sarjana pada Fakultas Biologi, Universitas Jenderal Soedirman, pada tahun 2019. Penulis melanjutkan pendidikan Magister di pada Program Studi Bioteknologi menyelesaikan pendidikan pada tahun 2022. Penulis berpengalaman sebagai Research Internship di bidang Riset di Lembaga Penelitian (BRIN) pada tahun 2020 selama 9 bulan, dan berpengalaman menjadi Konsultan Manajemen dan Organisasi pada PT Cognos Cendikia Global selama tahun 2022-2024. Mulai tahun 2024, penulis aktif sebagai Dosen pada Program studi Bioteknologi, Universitas Diponegoro, dengan berfokus kepada keilmuan Bioteknologi Lingkungan. Fokus dan minat riset penulis berkaitan dengan bioteknologi lingkungan, serta bioteknologi energi terbarukan, khususnya *Microbial Fuel Cell* (MFC) dan biohidrogen.

Penulis dapat dihubungi melalui email:
irfananwar@lecturer.undip.ac.id

BIODATA PENULIS



Arina Amalia Putri, S. Si., M. Si

Dosen Program Studi Bioteknologi
Universitas Diponegoro

Penulis lahir di Bogor tanggal 09 Oktober 1996. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Bioteknologi, Departemen Biologi, Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Diponegoro sejak Juni 2024. Penulis menyelesaikan pendidikan sarjana pada Program Studi Biologi, Fakultas MIPA, Universitas Jember pada tahun 2019. Penulis mendapatkan beasiswa LPDP untuk melanjutkan pendidikan Magister di Program Studi Bioteknologi, IPB University pada tahun 2020 dan menyelesaikan pendidikan pada tahun 2023. Fokus dan minat riset penulis berkaitan dengan mikrobiologi dan biologi molekuler.

Penulis dapat dihubungi melalui email:
arinamaliap@lecturer.undip.ac.id.

BIODATA PENULIS



Maulidi Firlandiana, S.T., M.Si.

Dosen Program Studi Agroteknologi
Fakultas Pertanian, Universitas Sunan Bonang, Tuban

Penulis lahir di Blitar tanggal 14 Agustus 1995. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Sunan Bonang, Tuban. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Rekayasa Pertanian di Institut Teknologi Bandung (ITB) tahun 2018 dan melanjutkan S2 pada Jurusan Bioteknologi Tanah dan Lingkungan, Institut Pertanian Bogor (IPB) tahun 2022. Penulis menekuni bidang menulis sejak duduk di bangku perkuliahan hingga saat ini diantaranya aktif menulis artikel jurnal ilmiah, buku, dan juga artikel yang berkaitan dengan bidang keilmuannya yaitu Bioteknologi Pertanian. Penulis juga aktif mengikuti kegiatan pengabdian masyarakat sejak menempuh pendidikan sarjana hingga berprofesi sebagai dosen, salah satunya membantu upaya peningkatan produktifitas kedelai edamame di Desa Sukawening, Dramaga, Bogor.

Penulis dapat dihubungi melalui e-mail:
firlandiana95@gmail.com

SINOPSIS BUKU

Buku "Bioteknologi" mengupas secara mendalam bioteknologi dalam berbagai bidang, yang terdiri dari bidang perikanan dan kelautan, bioteknologi kesehatan, bioteknologi industri, bioteknologi pertanian dan bioteknologi lingkungan. Buku ini dimulai dengan perkembangan bioteknologi di Indonesia, diikuti dengan pembahasan tentang potensi dan tantangan terkait bioteknologi yang ada di Indonesia.