

PENGANTAR BIOTEKNOLOGI

| DARI GEN
| KE MASA DEPAN



Indah Oktaviani, M.Si.
Dr. Erma Suryanti, M.Si.
Okta Yulia Sari, S. Hut., M.Si.

Pengantar 

Bioteknologi

- Dari Gen ke Masa Depan -

Indah Oktaviani, M.Si.
Dr. Erma Suryanti, M.Si.
Okta Yulia Sari, S. Hut., M.Si.



PENERBIT KBM INDONESIA

adalah penerbit dengan misi memudahkan proses penerbitan buku-buku penulis di tanah air Indonesia, serta menjadi media *sharing* proses penerbitan buku.

PENGANTAR BIOTEKNOLOGI

Dari Gen ke Masa Depan

Copyright @ 2025 By Indah Oktaviani, M.Si. dkk

All right reserved

Penulis

Indah Oktaviani, M.Si.

Dr. Erma Suryanti, M.Si.

Okta Yulia Sari, S. Hut., M.Si.

Desain Sampul

Eca Art

Tata Letak

Husnud Diniyah

Editor

Mentari Pratami S.Si., M.Si.

Official

Depok, Sleman-Jogjakarta (Kantor)

Penerbit KBM Indonesia

Anggota IKAPI/No. IKAPI 279/JTI/2021

081357517526 (Tlpn/WA)

Website

<https://penerbitkbm.com>

www.penerbitbukumurah.com

Email

naskah@penerbitkbm.com

Distributor

<https://penerbitkbm.com/toko-buku/>

Youtube

Penerbit KBM Sastrabook

Instagram

@penerbit.kbmindonesia

@penerbitbukujogja

ISBN: 978-634-202-967-1

Cetakan ke-1, Desember 2025

15,5 x 23 cm, x + 124 halaman

Isi buku diluar tanggungjawab penerbit
Hak cipta merek KBM Indonesia sudah terdaftar di DJKI-Kemenkumham dan isi
buku dilindungi undang-undang.

Dilarang keras menerjemahkan, memfotokopi, atau
memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini
tanpa seizin penerbit karena beresiko sengketa hukum

Sanksi Pelanggaran Pasal 113
Undang-Undang No. 28 Tahun 2014 Tentang Hak Cipta

- i. Setiap Orang yang dengan tanpa hak melakukan pelanggaran hak ekonomi sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf i untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 1 (satu) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp 100.000.000 (seratus juta rupiah).
- ii. Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf c, huruf d, huruf f, dan/atau huruf h untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 3 (tiga) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp 500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).
- iii. Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf a, huruf b, huruf e, dan/atau huruf g untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 4 (empat) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp 1.000.000.000,00 (satu miliar rupiah).
- iv. Setiap Orang yang memenuhi unsur sebagaimana dimaksud pada ayat (3) yang dilakukan dalam bentuk pembajakan, dipidana dengan pidana penjara paling lama 10 (sepuluh) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp 4.000.000.000,00 (empat miliar rupiah).

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa,

Buku ajar “Pengantar Bioteknologi: Dari Gen ke Masa Depan” ini disusun sebagai panduan komprehensif bagi mahasiswa Program Studi Biologi, khususnya untuk mata kuliah Pengantar Bioteknologi. Buku ini dirancang untuk menjembatani konsep dasar Biologi sel dan molekuler dengan aplikasi bioteknologi modern. Materi disajikan secara terstruktur, membahas fondasi ilmu, teknik DNA rekombinan, hingga aplikasi di berbagai sektor (mikroba, pertanian, medis, lingkungan), serta isu forensik, bioinformatika, dan tantangan etika masa depan.

Penyusunan materi buku ini berlandaskan pada Capaian Pembelajaran Lulusan (CPL) Program Studi Biologi yang diemban mata kuliah ini, yaitu CPL 6 (Penguasaan prinsip dasar aplikasi dan metode analisis/sintesis biologi) dan CPL 7 (Kemampuan memecahkan masalah Biologi dengan pendekatan teknologi). Secara spesifik, buku ini bertujuan membantu mahasiswa mencapai CPMK 6.3 (Memahami dasar dan teknik manipulasi hayati) dan CPMK 7.3 (Menganalisis potensi pemanfaatan sumber daya hayati beserta implikasi etika).

Tim penulis mengucapkan terima kasih kepada Fakultas Sains Itera dan LPPM Itera atas dukungan finansial melalui Hibah Penulisan Buku Ajar Fakultas Sains Tahun 2025, yang memungkinkan buku ini terwujud. Kami berharap buku ajar ini dapat berkontribusi optimal dalam meningkatkan kualitas

pembelajaran dan menghasilkan lulusan Biologi yang siap menghadapi tantangan di era bioteknologi. Kritik dan saran yang membangun senantiasa kami nantikan demi perbaikan di masa mendatang.

Way Hui, Oktober 2025

Tim Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR TABEL.....	ix

Bab 1 Pengantar Bioteknologi: Sejarah dan Ruang

Lingkup.....	1
1.1 Pendahuluan	1
1.2 Definisi Bioteknologi	3
1.3 Sejarah Perkembangan Bioteknologi	4
1.4 Perbedaan Bioteknologi Kuno dan Modern.....	9
1.5 Ruang Lingkup Bioteknologi: Skema Warna (<i>The Biotech Colors</i>)	11
1.6 Peran Bioteknologi dalam Berbagai Sektor	14
1.7 Ringkasan.....	15
1.8 Tahukah kamu 'Antibiotik' Kuno?	16

Bab 2 Biologi Sel dan Molekuler: Fondasi Esensial 17

2.1 Konsep Dasar Biologi Sel dan Molekuler dalam Bioteknologi	17
2.2 Struktur DNA, Gen, dan Dogma Sentral Biologi	18
2.3 Mekanisme Kunci: Replikasi, Transkripsi, dan Translasi.....	23
2.4 Dasar Manipulasi Gen: Gerbang Bioteknologi.....	27
2.5 Ringkasan.....	30
2.6 Latihan Soal dan Pembahasan.....	31

Bab 3 Teknologi DNA Rekombinan: Alat Dasar

Bioteknologi	33
3.1 Prinsip Dasar Rekayasa Genetika.....	34

3.2 Alat-Alat Kunci: Enzim Restriksi, Ligase, dan Vektor	36
3.3 Metode Dasar PCR (Polymerase Chain Reaction).....	40
3.4 Tugas Mandiri dan Studi Kasus	43
Bab 4 Bioteknologi Mikroba	45
4.1 Pendahuluan	45
4.2 Penggunaan Mikroorganisme dalam Bioteknologi.....	46
4.3 Latihan Soal	55
Bab 5 Bioteknologi Pertanian: Peningkatan Kualitas Pangan	57
5.1 Aplikasi Bioteknologi dalam Sektor Pertanian	57
5.2 Bioteknologi Pertanian: Teknik Perbanyakan Tanaman melalui Kultur Jaringan	58
5.3 Pengembangan Tanaman Transgenik (GMO).....	61
5.4 Tanaman Transgenik Komersial	63
5.5 Kekhawatiran Masyarakat terhadap Keamanan Tanaman GMO.....	64
5.6 Latihan Soal	66
Bab 6 Biologi Medis: Diagnosa dan Pengobatan	67
6.1 Sejarah Bioteknologi di Bidang Kesehatan.....	67
6.2 Produksi Vaksin	69
6.3 Produksi Antibodi Monoklonal	72
6.4 <i>Stem Cell</i> untuk Pengobatan penyakit.....	74
6.5 Latihan Soal	76
Bab 7 Bioteknologi Lingkungan dan Industri: Solusi Ramah Lingkungan	77
7.1 Pendahuluan	77
7.2 Aplikasi Bioteknologi untuk Mengatasi Masalah Lingkungan.....	79
7.3 Tugas	91
Bab 8 Bioteknologi Forensik dan Bioinformatika: Analisis Lanjutan	93
8.1 Pendahuluan	93
8.2 Bioteknologi Forensik	95
8.3 Bioinformatika.....	99
8.4 Studi Kasus	102

Bab 9 Bioteknologi di Masa Depan dan Isu Etika: Tinjauan Akhir.....	103
9.1 Pendahuluan	103
9.2 Kemajuan Terbaru dan Tantangan Etika yang Menyertainya.....	105
9.3 Aplikasi Nyata	113
DAFTAR PUSTAKA	115
BIODATA PENULIS	123

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Pendekatan Bioteknologi dalam bidang pertanian saat ini mendukung perkembangan industri hijau ramah lingkungan (Getty images).....	2
Gambar 1. 2 Prinsip Eksperimen Louis Pasteur tentang Sterilisasi dan Kontaminasi.....	6
Gambar 1. 3 Produk olahan dengan pendekatan bioteknologi. Kiri: Kombucha dan tempe; hasil pangan olahan bioteknologi tradisional. Kanan: Pengembangan insulin dan <i>golden rice</i> yang kaya akan betakaroten dalam pendekatan bioteknologi modern.....	11
Gambar 3. 1 Pembentukan DNA Rekombinan Menggunakan Enzim Restriksi dan Ujung Lengket (<i>Sticky Ends</i>)	38
Gambar 3. 2 Langkah-langkah Kloning Gen ke dalam Plasmid Bakteri dan Seleksi Rekombinan	39
Gambar 3. 3 Tahapan Dasar Metode PCR (Polymerase Chain Reaction)	40
Gambar 3. 4 Amplifikasi Eksponensial DNA Target.....	42
Gambar 4. 1 Senyawa Metabolit sekunder yang dihasilkan oleh mikroorganisme (Mark et al. 2025)	53
Gambar 4. 2 Teknologi DNA rekombinan dalam menghasilkan insulin rekombinan.....	55
Gambar 5. 1 Tahapan Kultur Jaringan: Mulai dari sterilisasi permukaan, penanaman ekspan, pertumbuhan, hingga aklimatisasi (https://microbenotes.com/plant-tissue-culture-steps/)	60

Gambar 5. 2	Skema Transfer Gen menggunakan metode gene gun (https://www.microscopemaster.com/transgenic-plants.html)	62
Gambar 5. 3	Metode transfer gen pada tanaman melalui bantuan <i>Agrobacterium tumefaciens</i> (Sabu et al. 2020).....	63
Gambar 6. 1	Perkembangan Bioteknologi Modern di Bidang Kesehatan	69
Gambar 6. 2	Contoh Tipe vaksin yang digunakan secara luas di bidang kesehatan (Pollard dan Bijker 2021)	72
Gambar 6. 3	Tahapan produksi Antibodi Monoklonal untuk terapi kesehatan (https://lifesciences.danaher.com/us/en/library/anti-body-generation-hybridoma.html)	74
Gambar 6. 4	Transplatasi Haemopoetic stem cell (HSC) pada penderita leukemia (https://my.clevelandclinic.org/health/treatments/2567-stem-cell-transplants).....	75
Gambar 7. 1	Revolusi Industri menyebabkan peningkatan polusi lingkungan.....	78
Gambar 7. 2	Biodegradasi mikroorganisme aerob dan anaerob (Sumber : Thieman & Palladino, 2014).....	82
Gambar 7. 3	Berbagai Mekanisme Fitoremediasi oleh Tumbuhan.....	87
Gambar 7. 4	Perkembangan sumber produksi bioetanol (Sumber: Tse et al, 2021).....	89
Gambar 7. 5	Tahapan produksi bioetanol (Sumber: Tse et al, 2021)	90
Gambar 8. 1	Multidisiplin pada bioteknologi forensik sehingga dapat mengungkap kasus kriminal	94
Gambar 8. 2	Tahapan identifikasi DNA (DNA <i>profiling</i>) (Sumber: Alketbi, 2023)	100
Gambar 9. 1	Komponen utama CRISPR-Cas9 (Bhad et al., 2024)	107
Gambar 9. 2	Tahapan <i>gene editing</i> melalui CRISPR-Cas9 (Bhad et al., 2024)	108

DAFTAR TABEL

Tabel 1. 1	Periode Sejarah Singkat Perkembangan Awal Bioteknologi Tradisional.....	5
Tabel 1. 2	Tonggak Sejarah dan Penemuan Kunci dalam Perkembangan Bioteknologi Modern	7
Tabel 1. 3	Sejarah Kunci dalam Bioteknologi Rekombinan dan Genomik Modern.....	8
Tabel 1. 4	Ringkasan perbedaan antara bioteknologi kuno dan modern	10
Tabel 3. 1	Komponen Kunci dalam Teknik Transfer DNA Rekombinan (TDR)	34
Tabel 4. 1	Senyawa metabolit primer hasil dari fermentasi mikroorganisme yang telah diproduksi secara massal di Industri.....	50
Tabel 5. 1	Tanaman transgenik yang telah disetujui dan diperjual belikan.....	64
Tabel 7. 1	Polutan kimia yang paling umum di lingkungan.....	80
Tabel 7. 2	Mikroorganisme pendegradasi polutan organik dan anorganik.....	83
Tabel 8. 1	Perbandingan teknik analisis DNA <i>fingerprint</i>	97
Tabel 8. 2	Data jumlah ulangan STR untuk lokus D1S1656.....	102
Tabel 9. 1	Kemungkinan resiko dan isu bioetika yang muncul pada penerapan teknologi CRISPR-Cas9	111

DAFTAR PUSTAKA

- Aghdam, M.G., & Taherzadeh M. (2008). Production of citric acid by solid state fermentation. *J Biotechnol.* 136:S464–S495.
- Alketbi, S. K. (2023). The role of DNA in forensic science: a comprehensive review. *International Journal of Science and Research Archive*, 9(2), 814–829. <https://doi.org/10.30574/ijrsra.2023.9.2.0624>
- Antil, S., & Joon, V. (2025). Biotechnology in forensic science: advancements and applications. *Journal of Forensic Science and Research*, 9(1), 7–14. <https://dx.doi.org/10.29328/journal.jfsr.1001073>
- Avenue, N.W. 2001. *Opportunities in Biotechnology for Future Army Applications*. National Academies Press. Washington, DC.
- Averianova, L.A., Balabanova, L.A., Son, O.M, Podvolotskaya AB & Tekutyeva LA (2020) Production of Vitamin B2 (Riboflavin) by Microorganisms: An Overview. *Front. Bioeng. Biotechnol.* 8:570828. doi: 10.3389/fbioe.2020.570828
- Ayanoglu, F. B., Elcin, A. E., & Elcin, Y. M. (2020). Bioethical issues in genome editing by CRISPR-Cas9 technology. *Turkish Journal of Biology*, 44: 110–120. <https://doi.org/10.3906/biy-1912-52>
- Azizoglu, U. (2017). “An Overview of the Microbial Insecticide: *Bacillus Thuringiensis*”. *EC Microbiology ECO.01*: 28-30.
- Bala, S., Garg, D., Thirumalesh, B. V., Sharma, M., Sridhar, K., Inbaraj, B. S., & Tripathi, M. (2022). Recent strategies for

- bioremediation of emerging pollutants: A review for a green and sustainable environment. *Toxics*, 10, 484. <https://doi.org/10.3390/toxics10080484>
- Baruah, J., Nath, B. K., Sharma, R., Kumar, S., Deka, R. C., Baruah, D. C., & Kalita, E. (2018). Recent trends in the pretreatment of lignocellulosic biomass for value-added products. *Frontier in Energy Research*, 6, 141.
- Bayer, K. (2014). Brief note on the development of biotechnology. *Food Technology and Biotechnology*, 52(1), 13–15.
- Bhad, V., Bhalerao, G., & Deokar, R. (2024). CRISPR-Cas9 in gene editing: innovations, applications, and ethical challenges. *International Journal of Scientific Research and Technology*, 1(11): 59–71. <https://doi.org/10.5281/zenodo.14161891>
- Bhatia, S. (2018). *History, scope and development of biotechnology*. IOP Publishing. 1-61. doi:10.1088/978-0-7503-1299-8ch1
- Bifulco M, Zazzo DC, Affinito A, Pagano C. 2005. *The relevance of the history of biotechnology for healthcare*. EMBO reports 26: 303-306
- Biswas, I. (2025). Ethical dimensions and societal implications: ensuring the social responsibility of CRISPR technology. *Frontiers in Genome Editing*, 7:1593172. <https://doi.org/10.3389/fgeed.2025.1593172>
- Brian Kelley (2024) The history and potential future of monoclonal antibody therapeutics development and manufacturing in four eras, mAbs, 16:1, 2373330, DOI: 10.1080/19420862.2024.2373330
- Cheng, Y., Zhou, Y., Yang, L. et al. (2013). Modification of histidine biosynthesis pathway genes and the impact on production of l-histidine in *Corynebacterium glutamicum*. *Biotechnol Lett* 35, 735–741
- Diversity, S. of the C. on B. (2011). Convention on Biological

Diversity: Text and annex.

- Falcetta P, Aragona M, Bertolotto A et al (2022) Insulin discovery: a pivotal point in medical history. *Metabolism* 127:154941
- Frame, K., & Baron, L. M. (2004). Your World magazine: Industrial and Environmental Biotechnology. *Biotechnology Institute*, 13(2).
- Gonzales-Avila, L. U., Vega-Lopez, J. M., Pelcastre-Rodriguez, L. I., Cabrero-Martinez, O. A., Hernandez-Cortez, C., & Castro-Escarpulli, G. (2021). The challenge of CRISPR-Cas toward bioethics. *Frontiers in Microbiology*, 12: 657981. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.657981>
- Hall, H., et al. (2005). "Bt corn: is it worth the risk?" *The science creative quarterly*, part III of VI
- Hancock, R. D., & Viola. (2002) Biotechnological approaches for l-ascorbic acid production. *Trends Biotechnol.* 20:299-305.
- Havlik, P., Schneider, U. A., Schmid, E., Bottcher, H., Fritz, S., Skalsky, R., Aoki, K., De Cara, S., Kindermann, G., Kraxner, F., et al. (2011). Global land-use implications of first and second generation biofuel targets. *Energy Policy*, 39, 5690–5702. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2010.03.030>
- Hou, X., Chen, X., Zhang, Y. et al. (2012). l-Valine production with minimization of by-products' synthesis in *Corynebacterium glutamicum* and *Brevibacterium flavum*. *Amino Acids*. 43. 2301–2311 <https://doi.org/10.1007/s00726-012-1308-9>
- Jambo, S. A., Abdulla, R., Azhar, S. H. M., Marbawi, H., Gansau, J. A., & Ravindra, P. (2016). A review on third generation bioethanol feedstock. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 65, 756–769. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.07.064>
- Kilbane, J. J. II. (2016). Applications of biotechnology to the energy industry. *Frontiers in Microbiology*, 7, 86. doi: 10.3389/fmicb.2016.00086

- Krämer, R. Production of amino acids: Physiological and genetic approaches. *Food Biotechnol* 18(2), 7-46
- Kryl, D. (2001). Environmental and industrial biotechnology in developing countries. *Electronic Journal of Biotechnology*, 4(3).
https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-34582001000300003
- Kusel JP, Fa, Y.H. & Demain, L. *Betaine stimulation of vitamin*. Elsevier Appl Science, New York
- Levengood, H., Zhou, Y. & Zhang, C. (2024). Advancements in plant transformation: from traditional methods to cutting-edge techniques and emerging model species. *Plant Cell Rep* 43: 273 <https://doi.org/10.1007/s00299-024-03359-9>
- Littlehales, C., & Massey, A. (2007). *Guide to Biotechnology* (D. Stricklan (ed.)). Biotechnology Industry Organization (BIO).
- Liu, W., Li, L., Jiang, J., Wu, M., & Lin P. (2021). Applications and challenges of CRISPR-Cas gene-editing to disease treatment in clinics. *Precision Clinical Medicine*, 4(3): 179–191.
<https://doi.org/10.1093/pcmedi/pbab014>
- Mark, B.B, Noguera, M.A., Hungria, M. (2025). Microbial Secondary Metabolites and Their Use in Achieving Sustainable Agriculture: Present Achievements and Future Challenges. *Agronomy*. 2025, 15(6),1350
- Martens, J.H., Barg, H., Warren, M.J., Jahn, D. (2002). Microbial production of vitamin B12. *Appl Microbiol Biotechnol*;58:275–85
- Meilana, A. N. S. T., & Auerkari, E. I. (2024). DNA profiling, bioinformatics databases in forensics: human identification purposes. *Journal La Lifesci*, 5(1), 49–63.
<https://doi.org/10.37899/journallalifesci.v5i1.1171>
- Melnikov, Birraux, Glavan, Laxe, G., Guirado, Lengagne, Liiv, Lorenzi, Melcák, Newall, Onaindia, Prokes, Raskinis, Roseta, Speroni, Theis, Tiuri, Toshev, & Vella. (1998).

- Biotechnology. *European Federation of Biotechnology*.
<https://assembly.coe.int/nw/xml/XRef/X2H-Xref-ViewHTML.asp?FileID=8541&lang=EN>
- Min, D., Li, F., Ali, M., Zhang, X., & Liu, Y. (2024). Application of methyl jasmonate to control disease of postharvest fruit and vegetables: A Meta-analysis. *Postharvest Biology and Technology*, 208(September 2023), 112667. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2023.112667>
- Nature. (2013). Fields of gold: research on transgenic crops must be done outside industry if it is to fulfil its early promise. *Nature* 497:5–6.
- Pandya, R. S., Kaur, T., Bhattacharya, R., Bose, D., & Saraf, D. (2024). Harnessing microorganisms for bioenergy with microbial fuel cells: poweing the future. *Water-Energy Nexus*, 7, 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.wen.2023.11.004>
- Papagianni, M. (2007). Advances in citric acid fermentation by *Aspergillus niger*: biochemical aspects, membrane transport and modelling. *Biotechnology Advances*, 25:. 244–263
- Phillips, G.C., Garda, M. (2019). Plant tissue culture media and practices: an overview. *In Vitro Cell.Dev.Biol.-Plant* 55: 242–257. <https://doi.org/10.1007/s11627-019-09983-5>
- Ravelonandro, M., R. Scorza, A. Callahan, Levy, C., Jacquet, Monsion, M. et al. (2000). The use of transgenic fruit trees as a resistance strategy for virus epidemics: the plum pox (sharka) model. *Virus Res*. 71:63–69.
- Ray, P. K. (2022). Bioinformatics as a modern tool in forensic science for data understanding & investigation in research. *Journal of Forensic Science and Research*, 6, 83–87. <https://doi.org/10.29328/journal.jfsr.1001040>
- Roewer, L. (2013). DNA fingerprinting in forensics: past, present, future. *Investigative Genetics*, 4, 22.

- <https://doi.org/10.1186/2041-2223-4-22>
- Sabu,S., Khanam, A., & Subitsha J. (2020). Agrobacterium-Mediated Transformation in *Oryza Sativa* (Rice) to Improve Crop Yield: A Review. *International Journal of Scientific Research and Engineering Development*. 3 (6). 762-770
- Smirnova, E., Pimenov, N., Ivannikova, R., Laishevtsev, A., & Konovalov, A. (2023). *Problems and the future of environmental biotechnology*. E3S Web of Conferences, 463(2013).
<https://doi.org/10.1051/e3sconf/202346302013>
- Spalla, C., Grein, A., Garofano, L. & Ferni, G. (1989). Microbial production of vitamin B1 In: E.J. Vandamme EJ (ed). *Biotechnology of Vitamins, Pigments and Growth Factors*,Elsevier Appl Science, New York, New York, pp. 257-284
- Stoeglehner, G., & Narodoslowsky, M. How sustainable are biofuels? Answer and further questions arising from an ecological footprint perspective. *Bioresource Technology*, 100, 3825–3830.
<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.01.059>
- Tavakkoli, M., Esfahani, H.,S, Azizi, M.H. (2012)Optimization of *Corynebacterium glutamicum* glutamic acid production by response surface methodology. *Food Bioprocess Technol*. 5(1):92–99.
- Thieman, W. J., & Palladino, M. A. (2014). *Introduction to Biotechnology*. 3rd ed. UK: Pearson New International Edition.
- Thorpe, T.,A. (2007). History of plant tissue culture. *Mol Biotechnol* 37(2):169-80. doi: 10.1007/s12033-007-0031-3
- Tse, T. J., Wiens, D. J., & Reaney, M. J. T. (2021). Production of bioethanol- a review of factors affecting ethanol yield. *Fermentation*, 7, 268.

- <https://doi.org/10.3390/fermentation7040268>
- Watts, C. (2024). *Environmental Biotechnology*. EBSCO.
<https://www.ebsco.com/research-starters/engineering/environmental-biotechnology#full-article>
- Xu, J., Li, M., & Ni, T. (2015). Feedstock for bioethanol production from a technological paradigm perspective. *BioResources*, 10(3), 6285–6304
- Ziolkowska, J. R. (2020). *Biofuels technologies*. In *Biofuels for a More Sustainable Future*, Amsterdam: Elsevier Inc.
- *Daftar pustaka gambar non narasumber diperoleh dari microsoft online, getty images, dan shutterstock*

BIODATA PENULIS



Indah Oktaviani, M.Si. lulus pendidikan sarjana di Program Studi Biologi, Universitas Pendidikan Indonesia (UPI) pada tahun 2012 dan lulus S2 di Program Studi Magister Biologi, Institut Teknologi Bandung (ITB) pada tahun 2016. Penulis berprofesi sebagai dosen tetap Program Studi Biologi, dengan konsentrasi biomolekuler dan bioteknologi tumbuhan, di Institut Teknologi Sumatera (Itera), Lampung Selatan. Saat ini penulis sedang menempuh pendidikan S3 di Program Studi Doktor Biologi, SITH-ITB dengan topik penelitian pascapanen buah fungsional dengan pendekatan omik.



Erma Suryanti lahir di Magetan, 25 Juli 1992. Erma adalah anak pertama dari 3 bersaudara dari pasangan Widji dan Misinem. Erma menyelesaikan studi S1 dari Departemen Biologi, Institut Pertanian Bogor (IPB) pada tahun 2014. Pada tahun 2015-2019, penulis mendapatkan kesempatan melanjutkan studi S2-S3 Mikrobiologi di IPB melalui beasiswa PMDSU dari Kemenristek-DIKTI. Sejak tahun 2020, penulis bergabung menjadi dosen di Program Studi Biologi, Institut Teknologi Sumatera, Lampung.



Okta Yulia Sari, S. Hut., M.Si. lahir di Pekalongan, 7 Oktober 1993. Penulis menyelesaikan kuliah sarjana di Departemen Silvikultur, Fakultas Kehutanan, Institut Pertanian Bogor (IPB) pada tahun 2017. Penulis kemudian melanjutkan kuliah pascasarjana di Program Studi Mikrobiologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, IPB pada tahun 2021 dan lulus pada tahun 2024. Bidang kajian yang didalami berkaitan dengan cendawan patogen dan aktivitas senyawa antimikroba dari cendawan. Saat ini penulis aktif menjadi pengajar dan peneliti di bidang mikrobiologi dengan bidang keahlian mikologi di Program Studi Biologi, Fakultas Sains, Institut Teknologi Sumatera. Penulis menjadi anggota Kelompok Keilmuan Bioprospeksi dan Bioteknologi Sumber Daya Hayati di Program Studi Biologi Itera.