



BUKU AJAR

Biologi Molekuler

**SRI PUJI ASTUTI WAHYUNINGSIH
WIN DARMANTO**

BUKU AJAR

Biologi Molekuler

Pasal 113 Undang-Undang Nomor 28 Tahun 2014 tentang Hak Cipta:

- (1) Setiap Orang yang dengan tanpa hak melakukan pelanggaran hak ekonomi sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf i untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 1 (satu) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp100.000.000 (seratus juta rupiah).
- (2) Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf c, huruf d, huruf f, dan/atau huruf h untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 3 (tiga) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).
- (3) 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 Rp1.000.000.000,00 (satu miliar rupiah).
- (4) 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 Rp4.000.000.000,00 (empat miliar rupiah).

BUKU AJAR

Biologi Molekuler

**SRI PUJI ASTUTI WAHYUNINGSIH
WIN DARMANTO**



Buku Ajar BIOLOGI MOLEKULER

Sri Puji Astuti Wahyuningsih, Win Darmanto

ISBN 978-602-14413-5-0 (PDF)

© 2024 Penerbit **Airlangga University Press**

Anggota IKAPI dan APPTI Jawa Timur
Kampus C Unair, Mulyorejo Surabaya 60115
Telp. (031) 5992246, 5992247
E-mail: adm@aup.unair.ac.id

Ilustrator Gambar (Aulia Umi Rohmatika, Umami Zubaidah, Farah Annisa Nurbani,
Nithasya Nabilla, Divany H. Achhlam)
Redaktur (Anas Abadi)
Layout (Djaiful Eko Suharto)
Cover (Erie Febrianto)
AUP (1465/09.24)

Hak Cipta dilindungi oleh undang-undang.
Dilarang mengutip dan/atau memperbanyak tanpa izin tertulis
dari Penerbit sebagian atau seluruhnya dalam bentuk apa pun.



Prakata

Syukur alhamdulillah penulis panjatkan pada Allah Swt., yang memberikan ketekunan dan kesabaran sehingga Buku Ajar Biologi Molekuler dapat terselesaikan. Buku ini didedikasikan untuk para mahasiswa pada jenjang sarjana yang ingin mempelajari yang membutuhkan informasi pengetahuan tentang Biologi Molekuler.

Buku ini menjadi acuan untuk mata kuliah Biologi Molekuler. Deskripsi dari mata kuliah ini membahas materi genetik dan perannya dalam informasi genetik dan ekspresi gen, struktur dan fungsi protein dalam fungsi biologis, membran sel sebagai sistem transpor, elemen gen yang dapat berpindah yang memengaruhi variabilitas genetik, serta teknik-teknik yang banyak digunakan dalam Biologi Molekuler. Tujuan setelah mengikuti mata kuliah ini, mahasiswa akan mampu menganalisis fenomena alam dengan pendekatan biologi molekuler.

Biologi molekuler merupakan cabang biologi yang berusaha memahami dasar molekuler aktivitas biologis di dalam dan di antara sel, termasuk sintesis, modifikasi, mekanisme, dan interaksi biomolekuler. Tonggak penting dalam biologi molekuler adalah penemuan struktur DNA. Pekerjaan ini dimulai pada tahun 1869 oleh Friedrich Miescher, seorang ahli biokimia Swiss yang pertama kali mengusulkan struktur yang disebut nuklein, yang sekarang kita kenal sebagai (asam deoksiribonukleat), atau DNA. Pada tahun 1953, James Watson dan Francis Crick memublikasikan struktur heliks ganda DNA. Pada awal tahun 2020-an, biologi molekuler memasuki masa keemasan yang ditandai dengan perkembangan teknologi baru, yaitu pemantauan proses biologis secara *real-time* pada tingkat atom. Data sekuensing menjadi lebih terjangkau dan digunakan di berbagai bidang keilmuan.

Untuk memahami buku ini, para pembaca harus memahami tentang ilmu Biokimia dan Genetika. Biokimia adalah studi tentang zat kimia dan proses vital yang terjadi pada organisme hidup. Ahli biokimia sangat

berfokus pada peran, fungsi, dan struktur biomolekul seperti protein, lipid, karbohidrat, dan asam nukleat. Sedangkan Genetika adalah studi tentang perbedaan genetik yang memengaruhi organisme. Genetika berusaha memprediksi bagaimana mutasi, gen individu, dan interaksi genetik dapat memengaruhi ekspresi fenotip.

Kami mengucapkan banyak terima kasih pada tim penulis atas kerja sama dan kesiplinannya. Sehingga buku ajar ini dapat terselesaikan. Kami menyadari bahwa masih banyak kekurangan dan kesalahan dalam penyusunan buku ajar ini. Semoga buku ajar Biologi Molekuler ini dapat digunakan oleh para mahasiswa yang ingin mendalami, memahami, menerapkan, memberikan wawasan, dan memperkaya kajian tentang Biologi Molekuler.

Surabaya, 2024

Tim Penulis



Ucapan Terima Kasih

Alhamdulillah dengan rahmat Allah SWT., buku ini dapat terbit. Banyak pihak yang membantu terbitnya buku ini. Ada beberapa pihak yang membantu menerbitkan buku ini dan mengedarkan sehingga dapat dijangkau dan dimanfaatkan oleh berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Pimpinan Universitas yang memberi kesempatan penulis untuk mengikuti Program Ketahanan Buku LIPJPHKI tahun 2024.
2. Ketua LIPJPHKI sebagai reviewer naskah buku ini dan menyetujui untuk diterbitkan oleh *Airlangga University Press*.
3. *Airlangga University Press* yang telah bersedia untuk menerbitkan dan mendistribusikan buku ini dalam bentuk digital (*e-book*).

Terima kasih juga penulis sampaikan kepada anggota keluarga yang telah memberikan waktunya untuk dapat menyelesaikan penulisan buku ajar ini. Demikian ucapan terima kasih penulisan sampaikan dengan tulus.

Tim Penulis



Latar Belakang Penulisan Buku

Buku ini menelaah bidang keilmuan Biologi Molekular dalam bentuk buku ajar. Kajian studi tentang dasar-dasar molekuler dari fenomena biologis dengan fokus pada sintesis molekuler, modifikasi, mekanisme, dan interaksi. Biologi molekuler berada di persimpangan antara biokimia dan genetika. Ketika disiplin ilmu ini muncul dan berkembang pada abad ke-20, menjadi jelas bahwa keduanya berusaha menentukan mekanisme molekuler yang mendasari fungsi seluler yang vital. Kemajuan dalam biologi molekuler terkait erat dengan pengembangan teknologi baru. Buku Ajar Biologi Molekular ini ditujukan untuk mahasiswa di tingkat Sarjana yang ingin menjelajahi keajaiban struktur dan fungsi makhluk hidup dalam “kaca mata” molekuler. Dalam perjalanan ini, kita akan menyelami asam nukleat, fondasi molekuler yang membawa instruksi vital untuk kehidupan. Bab 1 buku ini akan membahas dasar-dasar tentang asam nukleat, konsep alur informasi genetik, dan replikasi baik pada Eukariota, Prokariota, maupun Virus. Selanjutnya menggali struktur dan fungsi mereka yang kompleks, serta peran pentingnya dalam pewarisan genetik dan ekspresi gen.

Tidak lengkap rasanya jika tidak membahas tentang warisan genetik dari berbagai bentuk kehidupan. Oleh karena itu, kita akan mempelajari perbedaan dan persamaan antara DNA Eukariota, Prokariota, dan virus, serta peran kunci yang dimainkan oleh gen dan kromosom dalam memelihara informasi genetik yang di bahas pada Bab 2.

Selanjutnya, kita akan memperdalam pemahaman tentang struktur dan fungsi protein, memahami bagaimana protein berperan sebagai “pemain utama” dalam berbagai proses biologis pada Bab 3. Melangkah lebih jauh, kita akan menjelajahi membran biologis, penghalang vital yang memisahkan dan melindungi sel dari lingkungan eksternalnya. Bab 4 ini akan membahas komposisi dan fungsi membran biologis serta mekanisme transportasi yang penting untuk pertukaran zat-zat antara sel dan lingkungannya. Protein

membran ternyata juga berperan dalam kesehatan terutama titik masuknya virus dan dapat digunakan sebagai target berbagai obat.

Selain itu, kita juga akan mengeksplorasi elemen genetik yang menarik, seperti transposon, dan memahami bagaimana perpindahan gen dapat memengaruhi evolusi dan adaptasi makhluk hidup yang akan di bahas pada Bab 5. Kemudian pada Bab 6–9, kita akan menyelami teknik-teknik penting dalam analisis molekuler, termasuk *Southern blotting*, *Northern blotting*, dan *Western blotting*, yang memungkinkan para ilmuwan untuk mendeteksi dan menganalisis fragmen asam nukleat atau protein secara spesifik. Terakhir, namun tidak kalah penting, kita akan menjelajahi teknik paling revolusioner dalam Biologi Molekuler: *Polymerase Chain Reaction* (PCR), yang telah merevolusi cara kita memperbanyak dan menganalisis fragmen DNA secara efisien dan akurat.



Daftar Isi

v	Prakata
vii	Ucapan Terima Kasih
ix	Latar Belakang Penulisan Buku
1	BAB 1 Asam Nukleat
	PENDAHULUAN, 1
	1.1 Sejarah DNA sebagai Materi Genetik, 2
	1.2 Karakteristik Kimia Asam Nukleat, 3
	1.3 Struktur Rantai Asam Nukleat, 5
	1.4 Konsep Alur Informasi Genetik, 5
	1.5 Ribosom, 16
	1.6 Kode Genetik Sekuens Asam Amino dari Protein, 17
	1.7 Kelompok RNA yang tidak Ditranslasikan, 20
	RANGKUMAN, 21
	LATIHAN, 22
	DAFTAR PUSTAKA, 23
25	BAB 2 Gen dan Kromosom
	PENDAHULUAN, 25
	2.1 Gen, 26
	2.2 Kromosom, 38
	RANGKUMAN, 47
	LATIHAN SOAL, 48
	DAFTAR PUSTAKA, 50

53

BAB 3 **Protein: Struktur dan Fungsi**

- PENDAHULUAN, 53
- 3.1 Struktur Protein, 55
- 3.2 Fungsi Protein, 63
- RANGKUMAN, 64
- LATIHAN SOAL, 65
- DAFTAR PUSTAKA, 66

67

BAB 4 **Membran Biologis**

- PENDAHULUAN, 67
- 4.1 Struktur dan Organisasi Membran, 68
- 4.2 Lipid Penyusun Membran Biologis, 73
- 4.3 Protein Penyusun Membran Biologis, 75
- 4.4 Target Hasil Sintesis Lipid dan Protein Membran, 80
- 4.5 Pengiriman Sinyal Melalui Membran, 81
- 4.6 Protein G dan *Second Messengers*, 83
- 4.7 Membran Pada Kesehatan, 84
- RANGKUMAN, 86
- LATIHAN SOAL, 86
- DAFTAR PUSTAKA, 88

89

BAB 5 **Transposon**

- PENDAHULUAN, 89
- 5.1 Sejarah Transposon, 90
- 5.2 Peran Transposon dalam Evolusi, 92
- 5.3 Tipe Transposon, 93
- 5.4 Tipe Pergerakan Transposon, 96
- 5.5 Transfer Horizontal pada Mikroorganisme Parasit, 97
- RANGKUMAN, 98
- LATIHAN SOAL, 99
- DAFTAR PUSTAKA, 99

PENDAHULUAN, 141

8.1 Pengertian *Western Blot*, 142

8.2 Perbedaan WB dengan Teknik *Blotting* Lain, 143

8.3 Prosedur *Western Blotting*, 144

8.4 Kesalahan yang Mungkin Muncul dari Pelaksanaan Prosedur *Western Blotting*, 149

8.5 Aplikasi *Western Blotting*, 150

RANGKUMAN, 151

LATIHAN SOAL, 152

DAFTAR PUSTAKA, 153

101

BAB 6 ***Southern Blotting***

PENDAHULUAN, 101

6.1 Definisi *Southern Blotting*, 102

6.2 Prinsip *Southern Blotting*, 103

6.3 Komponen-Komponen *Southern Blotting*, 103

6.4 Prosedur *Southern Blotting*, 105

6.5 Modifikasi Terbaru *Southern Blotting*, 114

6.6 Aplikasi *Southern Blotting*, 114

RANGKUMAN, 117

LATIHAN SOAL, 117

DAFTAR PUSTAKA, 119

121

BAB 7 ***Northern Blotting***

PENDAHULUAN, 121

7.1 Definisi dan Sejarah Penelitian *Northern Blotting*, 122

7.2 Protokol Umum *Northern Blotting*, 123

7.3 Protokol *Northern Blotting*, 128

7.4 Aplikasi *Northern Blotting*, 133

7.5 Status Penggunaan dan Prospek Masa Depan, 135

RANGKUMAN, 137

LATIHAN SOAL, 137

DAFTAR PUSTAKA, 139

141

BAB 8 ***Western Blotting***

- PENDAHULUAN, 141
- 8.1 Pengertian *Western Blot*, 142
- 8.2 Perbedaan WB dengan Teknik *Blotting* Lain, 143
- 8.3 Prosedur *Western Blotting*, 144
- 8.4 Kesalahan yang Mungkin Muncul dari Pelaksanaan Prosedur *Western Blotting*, 149
- 8.5 Aplikasi *Western Blotting*, 150
- RANGKUMAN, 151
- LATIHAN SOAL, 152
- DAFTAR PUSTAKA, 153

155

BAB 9 ***Teknik Polymerase Chain Reaction (PCR)***

- PENDAHULUAN, 155
- 9.1 Komponen-Komponen PCR, 156
- 9.2 DNA Polimerase, 160
- 9.3 dNTP, 161
- 9.4 Gen Referensi, 161
- 9.5 Primer, 162
- 9.6 *Thermal Cycler*, 163
- 9.7 Pengolahan Data PCR, 164
- 9.8 Jenis-Jenis PCR, 166
- RANGKUMAN, 170
- LATIHAN SOAL, 170
- DAFTAR PUSTAKA, 171

173 | **Glosarium**

187 | **Indeks**



Daftar Gambar

4	GAMBAR 1. Struktur Kimia DNA.
4	GAMBAR 2. Komposisi Gula RNA dan DNA.
5	GAMBAR 3. Struktur Rantai Asam Nukleat.
6	GAMBAR 4. Skema Ringkas Alur Informasi Genetik.
8	GAMBAR 5. Pembentukan Garpu Replikasi: Garpu Replikasi Dibentuk oleh Pembukaan Rantai Ganda DNA; Helikase Memisahkan Rantai DNA.
11	GAMBAR 6. Terminator Replikasi DNA Bakteri <i>E. coli</i> .
14	GAMBAR 7. Alur Informasi Genetik
16	GAMBAR 8. Perbedaan Transkripsi antara Organisme Eukariota dan Prokariota.
17	GAMBAR 9. Struktur Penyusun Ribosom Bakteri.
19	GAMBAR 10. Struktur Transfer RNA Memiliki Antikodon.

20	GAMBAR 11. Proses Translasi oleh Ribosom.
30	GAMBAR 12. Struktur Gen pada Prokariota.
31	GAMBAR 13. Struktur Operon pada Gen Prokariota.
32	GAMBAR 14. Struktur Gen pada Eukariot.
32	GAMBAR 15. Struktur Ekson Setelah Splicing.
35	GAMBAR 16. Struktur Operon lac.
36	GAMBAR 17. Nukleosom.
39	GAMBAR 18. Kariotipe pada Manusia.
40	GAMBAR 19. Eukromatin dan Heterokromatin.
41	GAMBAR 20. Stuktur Kromosom.
43	GAMBAR 21. Daerah Replikasi pada Kromosom.
43	GAMBAR 22. Tipe-tipe Kromosom
54	GAMBAR 23. Struktur Asam Amino Glisin dan Prolin.
55	GAMBAR 24. Empat Bentuk Struktur Protein.

- 56** **GAMBAR 25.**
Ikatan Rangkap pada Ikatan Peptida.
- 57** **GAMBAR 26.**
Ikatan Disulfida pada Insulin.
- 57** **GAMBAR 27.**
Ikatan Hidrogen.
- 59** **GAMBAR 28.**
 α -Heliks Reguler (C, N, dan O)
- 59** **GAMBAR 29.**
Ikatan Hidrogen Tulang Punggung pada α -Helix Darimioglobin.
- 60** **GAMBAR 30.**
Dua β -Sheet yang Berdekatan dengan Ikatan Hidrogen.
- 61** **GAMBAR 31.**
Contoh Bentuk Struktur Tersier Protein.
- 62** **GAMBAR 32.**
Struktur Kuartener Protein yang Tersusun Atas Lebih dari Satu Rantai Polipeptida (Subunit).
- 70** **GAMBAR 33.**
Representasi Lipid pada Membran Biologis.
- 70** **GAMBAR 34.**
Bilayer Fosfolipid
- 74** **GAMBAR 35.**
Jalur Transport Lipid Membran.
- 76** **GAMBAR 36.**
Co-Translasi Target Protein RE.
- 81** **GAMBAR 37.**
Pembentukan Vesikel, Transpor Vesikel, dan Fusi.
- 83** **GAMBAR 38.**
GPCR dan Pensinyalan G-Protein Heterotrimer.

104

GAMBAR 39.
Ilustrasi Transfer Fragmen DNA selama *Southern blotting*.

113

GAMBAR 40.
Alur Prosedur *Southern blotting*.

116

GAMBAR 41.
Deteksi RFLP 6 Sampel Darah Acak yang Ditemukan di Lokasi Kejadian X.

132

GAMBAR 42.
Alur Protokol Northern blotting.

145

GAMBAR 43.
Urutan Prosedur Western Blot.

146

GAMBAR 44.
Rangkaian Pertanyaan Sebelum Memulai Prosedur Western Blotting.

148

GAMBAR 45.
Penyusunan Bahan Selama Elektrotransfer.

168

GAMBAR 46.
Langkah PCR (kiri) dan RT-PCR (kanan).

169

GAMBAR 47.
PCR Kit.