

BIOLOGI DASAR



Rosita Fitrah Dewi



Penerbit Yayasan Citra Dharma Cindekia



Tentang Penulis

Rosita Fitrah Dewi



Lahir di Bondowoso, Provinsi Jawa Timur pada tahun 1987. Penulis menamatkan jenjang SD hingga SMA di Bondowoso. Lulus sebagai sarjana dari Pendidikan Biologi Universitas Jember pada bulan Maret 2011, penulis melanjutkan pendidikan magister Biologi pada universitas yang sama pada bulan September 2011. Sejak tahun 2016, penulis mengajar di Tadris Biologi Fakultas Tarbiyan dan Ilmu Keguruan UIN KHAS Jember.

Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 19 Tahun 2002 Tentang Hak Cipta
Lingkupan Hak Cipta:

Pasal 2

Hak cipta merupakan hak eksklusif bagi pencipta atau pemenang Hak Cipta untuk mengumumkan atau memperbanyak ciptaan dilahirkan tanpa mengurangi pembatas menurut peraturan perundang-undangan yang berlaku.

Ketentuan Pidana:

Pasal 72

1. Barang siapa dengan sengaja melanggar dan tanpa hak melakukan perbuatan sebagaimana dimaksud dalam pasal 2 ayat (1) atau pasal 29 ayat (1) dan ayat (2) dipidana dengan pidana penjara masing-masing paling singkat 1 (satu) bulan dan/atau denda paling sedikit Rp 1.000.000,00 (satu juta rupiah), atau pidana penjara paling lama 7 (tujuh) tahun dan/atau denda paling banyak Rp 5.000.000.000,00 (lima miliar rupiah).
2. Barang siapa dengan sengaja menyiarkan, memamerkan, mengedarkan, atau menjual kepada umum suatu ciptaan atau barang hasil pelanggaran hak cipta atau hak terkait sebagai dimaksud pada ayat (1) dipidana dengan pidana penjara paling lama 5 (lima) tahun dan/atau denda paling banyak Rp 500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).

Buku ajar
BIOLOGI DASAR

Rosita Fitrah Dewi



Buku ajar
BIOLOGI DASAR

ISBN : 978-623-6078-68-6

Penulis:

Rosita Fitrah Dewi

Editor:

Ira Nurmawati

Aida Fikriyah

Taufik Ardianto

Penyunting:

Windar Adi Susilo

Desain Sampul dan Tata Letak:

Agus Susilo Nugroho

Husni Mubarak

Penerbit:

Yayasan Citra Dharma Cindekia

Redaksi:

Grobogan, Jawa Tengah, 58114

Telp. 0895605883330

email: citra.dharmacindekia@gmail.com

Cetakan pertama, Desember 2021

Hak cipta dilindungi oleh undang-undang.

Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini dalam bentuk apapun, baik secara elektronik maupun mekanis termasuk memfotocopy, merekam atau dengan sistem penyimpanan lainnya tanpa izin tertulis dari penerbit

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT, yang telah memberikan rahmat-Nya sehingga Buku Ajar Biologi Dasar untuk mahasiswa ini dapat diselesaikan dengan baik. Shalawat serta salam semoga tetap terlimpahkan kepada Nabi Muhammad saw.

Buku Ajar ini dibuat sebagai pedoman dan bahan ajar dalam melakukan kegiatan perkuliahan mata kuliah Biologi Dasar. Dengan adanya buku ini diharapkan dapat membantu mahasiswa dalam mempersiapkan dan melaksanakan perkuliahannya dengan baik, terarah, dan terencana. Pada setiap bab dipaparkan mengenai materi yang dibahas beserta dengan standar kompetensi yang akan dicapai. Penyusun menyakini bahwa dalam pembuatan buku ajar ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu penyusun mengharapkan kritik dan saran yang membangun guna penyempurnaan diktat ini di masa yang akan datang.

Akhir kata, penyusun mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah membantu baik secara langsung maupun tidak langsung. Semoga Buku Ajar Biologi Dasar ini bisa bermanfaat. Aamiin.

Jember, Desember 2021

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR	vii
SINOPSIS	ix
BAB 1. Ruang Lingkup Biologi dan Metode Ilmiah	
A. Biologi sebagai Ilmu Pengetahuan	1
B. Pemecahan Masalah dengan Metode Ilmiah	2
BAB 2. Struktur Kimia Penyusun Kehidupan	
A. Protein	7
B. Karbohidrat	9
C. Lipid	11
D. Asam Nukleat	12
BAB 3. Struktur Sel dan Organel Penyusunnya	
A. Struktur Umum Sel	15
B. Organel Sel	17
1. Membran Sel	17
2. Dinding Sel.....	18
3. Sitoplasma	18
4. Nukleus	19
5. Mitokondria	19
6. Retikulum endoplasma	20

7. Ribosom	21
8. Badan golgi	21
9. Kloroplas	22
10. Sitoskeleton	23
11. Vakuola	24
12. Lisosom	24
13. Flagela/Silia	24

BAB 4. Siklus Sel

A. Mitosis	26
B. Meiosis	29

BAB 5. Metabolisme Sel

A. Transport Sel	32
1. Difusi	33
2. Osmosis	33
3. Filtrasi	34
4. Transport Aktif	34
5. Cytosis	34
B. Anabolisme	35
1. Anabolisme Lemak	35
2. Anabolisme Protein	35
3. Anabolisme Karbohidrat	36
C. Katabolisme	38
1. Katabolisme Lemak	38

2. Katabolisme Protein	38
3. Katabolisme Karbohidrat	39
BAB 6. Gen dan Kromosom	
A. Gen dan Kromosom	42
B. Replikasi	45
C. Sintesis Protein	47
BAB 7. Hukum Mendel dan Penyimpangan Semu	
Hukum Mendel	
A. Hukum Mendel	50
B. Penyimpangan Semu Hukum Mendel	53
BAB 8. Ekologi	
A. Ruang Lingkup	57
1. Komponen Biotik	58
2. Komponen Abiotik	60
B. Siklus Biogeokimia	61
1. Siklus Karbon-Oksigen	61
2. Siklus Nitrogen	62
3. Siklus Hidrologi	63
4. Siklus Sulfur	64
5. Siklus Fosfor	65
BAB 9 Tingkah Laku Hewan	
A. Perilaku Bawaan	66
B. Perilaku Terajar	68

BAB 10 Evolusi

A. Percobaan Asal Usul Kehidupan	75
B. Teori Evolusi	78
C. Mekanisme Evolusi	81
D. Bukti Evolusi	82

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Asam Amino	7
Tabel 3.1 Penyusun Nukleotida	13
Tabel 3.1 Perbedaan antara Sel Prokariotik dan Sel Eukariotik	17

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Aristoteles	1
Gambar 1.2 Organisasi Kehidupan	1
Gambar 1.3 Cabang Ilmu Biologi	2
Gambar 1.4 Langkah Metode Ilmiah	4
Gambar 2.1 Struktur Atom	6
Gambar 2.2 Struktur Protein	8
Gambar 2.3 Struktur Karbohidrat	10
Gambar 2.4 Struktur Lemak.....	11
Gambar 2.5 Struktur Nukleotida	12
Gambar 3.1 Ukuran Sel.....	16
Gambar 3.2 Perbandingan sel Eukaryot dan Prokaryot	16
Gambar 3.3 Membran Sel	18
Gambar 3.4 Nukleus	19
Gambar 3.5 Mitokondria	20
Gambar 3.6 Kloroplas	22
Gambar 4.1 Siklus Sel	26
Gambar 4.2 Mitosis	27
Gambar 4.3 Meiosis	29
Gambar 5.1 Difusi	33
Gambar 5.2 Osmosis pada Sel Hewan	33
Gambar 5.3 Pompa Ion K dan Na	34

Gambar 6.1 Lokus dan Alel	42
Gambar 6.2 Kromosom	43
Gambar 6.3 Replikasi DNA	45
Gambar 6.4 Sintesis Protein	48
Gambar 7.1 Persilangan Monohibrid	51
Gambar 7.2 Persilangan Dihibrid	52
Gambar 8.1 Rantai Makanan	58
Gambar 10.1 Percobaan Fransisco Redi	76
Gambar 10.2 Percobaan Lazzaro Spallanzani	76
Gambar 10.3 Percobaan Louis Pasteur	77

SINOPSIS

Ilmu Biologi merupakan rumpun keilmuan yang terdiri atas berbagai macam disiplin ilmu. Objek bahasan dalam studi biologi mengenai makhluk hidup dan berbagai faktor yang mempengaruhi kehidupannya. Oleh karena objek studi dalam Biologi yang sangat berkaitan dengan kita dan lingkungan sekitar, maka sudah seyogyanya kita mempelajarinya.

Buku ini berisi tentang beberapa bab mengenai dasar-dasar mempelajari ilmu biologi, yaitu metode ilmiah, struktur kimia penyusun kehidupan, organel sel, metabolisme sel, genetika, ilmu lingkungan, perilaku hewan dan evolusi. Dasar konsep pengenalan ilmu biologi pada buku ini bisa digunakan sebagai pijakan untuk mempelajari ilmu biologi lebih lanjut dan lebih spesifik lagi.

1

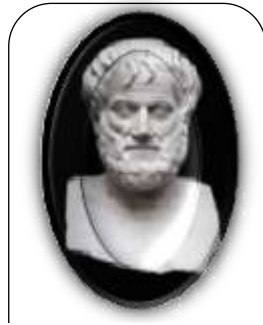
RUANG LINGKUP BIOLOGI DAN METODE ILMIAH

Kompetensi Dasar:

Memahami, menerapkan, dan mengkomunikasikan susunan metode ilmiah

A. Biologi Sebagai Ilmu Pengetahuan

Biologi merupakan salah satu ilmu pengetahuan alam yang dirintis oleh Aristoteles, ilmuwan dari Yunani yang disebut juga sebagai bapak perintis biologi. Biologi berasal dari bahasa Yunani, yaitu kata *bios* (hidup) dan *logos* (ilmu). Jadi biologi artinya ilmu alam yang mempelajari tentang organisme dan interaksinya dengan lingkungan.

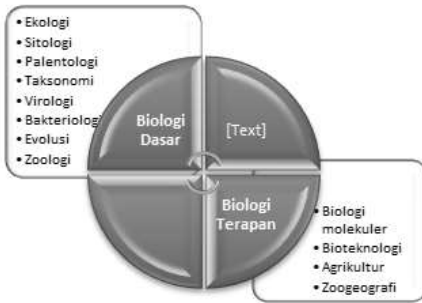


Gambar 1.1 Aristoteles
Sumber: www.shutterstock.com



Gambar 1.2 Organisasi kehidupan
Sumber: www.depositphotos.com

Objek bahasan dalam biologi meliputi struktur, fungsi, tumbuh-kembang, dan adaptasi, juga klasifikasi makhluk hidup, habitat, peran terhadap lingkungan, asal-usul dan evolusinya.



Gambar 1.3 Cabang Ilmu Biologi

Biologi merupakan ilmu yang cakupannya luas, kurang lebih ada 205 macam bidang keilmuan. Awalnya, ilmu biologi terbagi menjadi dua, yaitu ilmu tentang tumbuhan (botani) dan ilmu tentang hewan (zoologi).

Cabang biologi ini terus-menerus bertambah, sesuai dengan perkembangan ilmu dan teknologi.

- a. Mikologi: ilmu yang mempelajari tentang fungi
- b. Fikologi: ilmu yang mempelajari tentang alga
- c. Bryologi: ilmu yang mempelajari tentang lumut
- d. Ichtiologi: ilmu yang mempelajari tentang ikan
- e. Karsinologi: ilmu yang mempelajari tentang krustasea
- f. Mammologi: ilmu yang mempelajari tentang mammalia
- g. Ornitologi: ilmu tentang burung
- h. Entomologi: ilmu yang mempelajari tentang insekta
- i. Parasitologi: ilmu yang mempelajari tentang parasit
- j. Etnobiologi: penelaahan ilmiah penggunaan serta hubungan budaya antara ilmu biologi dan manusia pada suatu suku bangsa
- k. Virologi: ilmu yang mempelajari tentang virus
- l. Bakteriologi: ilmu yang mempelajari tentang bakteri
- m. Mikrobiologi: ilmu ilmu yang mempelajari tentang mikroorganisme secara umum
- n. Ekologi: ilmu yang mempelajari hubungan antara makhluk dan lingkungan
- o. Biokimia: ilmu yang mempelajari tentang aspek kimia dari kehidupan
- p. Biofisika: ilmu yang mempelajari tentang aspek fisika dalam kehidupan organisme

- q. Bioteknologi/Biologi molekuler: ilmu yang mempelajari tentang pemanfaatan makhluk hidup dan produk yang dihasilkan oleh makhluk hidup dalam proses produksi untuk mendapatkan barang dan jasa yang dapat dimanfaatkan oleh manusia.

Berdasarkan cara penerapannya, biologi dibagi menjadi dua, yaitu *basic biology* (yang mempelajari dasar-dasar ilmu biologi) dan *applied biology* (yang mempelajari penerapan ilmu biologi bagi kehidupan). Ilmu biologi sangat bermanfaat bagi kehidupan manusia dan digunakan untuk berbagai bidang kehidupan seperti pertanian, peternakan, perikanan, kedokteran, dan lain sebagainya.

B. Pemecahan Masalah Dengan Metode Ilmiah

Ilmu Biologi berkembang berdasarkan metode ilmiah yang dilakukan oleh para ilmuwan sehingga dapat dipertanggung-jawabkan secara ilmiah. Metode ilmiah juga dapat menyelesaikan persoalan- persoalan yang terdapat dalam kehidupan. Misalnya untuk menjawab pertanyaan- pertanyaan mengapa buah-buahan beraneka ragam? Darimana kemiripan dalam keluarga berasal? Mengapa kelelawar tidur dengan cara menggantung? Dan berbagai fenomena lain dalam kehidupan sehari-hari.

Metode penelitian pertama kali di kemukakan oleh Aristoteles. Kata metode berasal dari bahasa Yunani *methodos* yang merupakan gabungan dari kata depan *meta* (menuju, melalui, mengikuti,) dan kata benda *hodos* (jalan, cara, arah). **Jadi** metode ilmiah adalah suatu langkah-langkah untuk memecahkan masalah yang dilakukan secara sistematis dan terkontrol serta didasarkan pada data empiris.

inti dari metode ilmiah adalah seseorang mampu berpikir logis, analitis, dan empiris

Contoh:

No	Tahapan	Penerapan
1.	Rumusan masalah	Apakah suhu air mempengaruhi gerak operculum ikan?
2.	Kerangka berpikir	Dari berbagai informasi yang diperoleh dan dikembangkan secara logis
3.	Rumusan hipotesis	Suhu air mempengaruhi gerak operculum ikan
4.	Pengujian hipotesis	Melakukan percobaan dengan memberi perlakuan suhu dingin, normal dan hangat, kemudian menghitung membuka - menutup operculum ikan
5.	Kesimpulan	Gerak operculum semakin cepat pada suhu hangat dan melambat pada suhu dingin.



Q. S. Al Hasyr ayat 21

لَوْ أَنْزَلْنَا هَذَا الْقُرْآنَ عَلَىٰ جَبَلٍ لَّرَأَيْنَهُ خَشِعًا مُّتَصَدِّعًا مِّنْ خَشْيَةِ اللَّهِ وَتِلْكَ الْأَمْثَلُ نَضْرِبُهَا لِلنَّاسِ لَعَلَّهُمْ يَتَفَكَّرُونَ

Artinya: Kalau sekiranya Kami turunkan Al-Quran ini kepada sebuah gunung, pasti kamu akan melihatnya tunduk terpecah belah disebabkan ketakutannya kepada Allah. Dan perumpamaan-perumpamaan itu Kami buat untuk manusia supaya mereka berfikir.

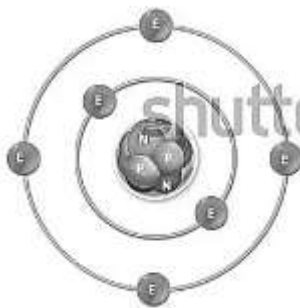
2

STUKTUR KIMIA PENYUSUN KEHIDUPAN

Kompetensi Dasar:

Memahami struktur, fungsi, dan siklus sel

Pada tingkat yang paling dasar, tubuh kita, semua makhluk hidup dan semua hal yang tak hidup di dunia ini terdiri atas struktur terkecil yang disebut dengan atom. Atom-atom dengan ikatan tertentu membentuk sebuah struktur yang disebut molekul. Molekul-molekul itulah yang berperan dalam setiap unsur di dunia. Beberapa molekul hanya diperlukan sebanyak kurang dari 0,01%. Adapun molekul-molekul penyusun sebagian besar materi hidup disebut biomolekul, seperti C, H, O dan N



Gambar 2.1 Struktur atom
Sumber: www.shutterstock.com

Sebuah atom tersusun dari dua ruang. Pertama yaitu inti atom yang terbentuk dari proton yang bermuatan positif, dan neutron yang tidak bermuatan atau netral. Kedua, ruang yang lebih besar, yaitu awan elektron, partikel bermuatan negatif yang mengelilingi inti atom, daya tarik antara proton bermuatan positif dan elektron bermuatan negatif bersama-sama membentuk atom.

Sebagian besar atom mengandung tiga jenis partikel subatomik ini—proton, elektron, dan neutron.

Hydrogen (H) adalah pengecualian karena hanya memiliki satu proton dan satu elektron, namun tidak punya

neutron. Jumlah proton dalam nukleus menentukan sifat fisik dan jenis atom, sementara jumlah elektron-elektron yang mengelilingi inti menentukan reaksi-reaksi kimia yang akan dialami oleh atom. Ketiga jenis partikel subatomik untuk atom helium—yang, menurut definisi, memiliki dua proton.

A. Protein

Protein adalah merupakan struktur pembangun kehidupan berbentuk polimer dari monomer asam amino. Asam amino yaitu rantai karbon yang mengandung gugus amino fungsional (nitrogen dan hidrogen dua) yang melekat pada salah satu ujung kerangka dan gugus asam karboksilat di ujung lain. Protein tersusun atas unsur karbon (C), hidrogen (H), oksigen (O), nitrogen (N), dan terkadang mengandung zat belerang (S) dan fosfor (P). Protein adalah komponen utama makhluk hidup dan memiliki peran dalam aktivitas sel. Protein mengatur aktivitas metabolisme, mempercepat reaksi biokimia, dan menjaga keutuhan struktur sel.

Sampai saat ini telah dikenal 20 jenis asam amino yang biasanya terdapat dalam protein.

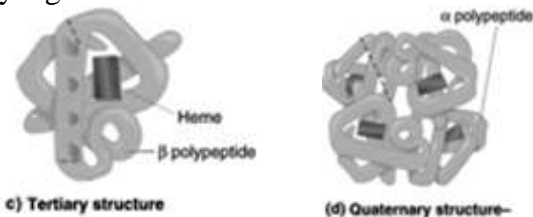
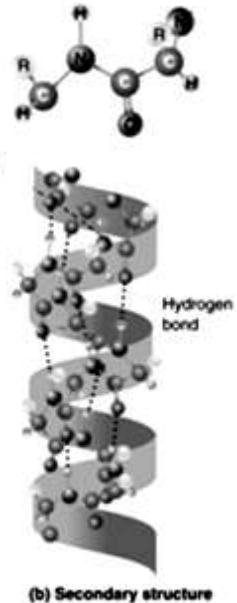
Tabel 2.1 Asam Amino

Polaritas		Derajat keasaman	
Polar	Non-polar	Asam	Basa
Serine	Glycin	Asam Aspartat	Lysine
Threonine	Alanine	Asam Gutamat	Arginine
Cystein	Valine		Histidine
Tyrosine	Leucine		
Asparagine	Isoleucine		
Glutamine	Methionine		
	Tryptophan		
	Methionin		
	Phenylalanine		

Semua asam amino sekurang-kurangnya sebuah gugus amino (NH_2) dan gugus karboksil ($-\text{COOH}$). Masing-masing dari 20 asam amino mempunyai gugus R yang berbeda. Dalam hal ini, komposisi kimia dari gugus R yang khas menentukan sifat-sifat asam amino, seperti reaktivitas, muatan ion, dan hidropobisitas relatif (sifat ketidaksukaan terhadap air).

Setiap protein terdiri dari satu atau lebih rantai polipeptida. Akibatnya, terdapat empat struktur protein, yaitu sebagai berikut.

- Struktur primer, yaitu sekuens polipeptida berbentuk linier.
- Struktur sekunder, yaitu struktur protein yang rantai polipeptidanya memiliki pola reguler (α helix dan β sheet) dan irreguler (coil dan loop).
- Struktur tersier, yaitu rangkaian struktur sekunder yang sisi-sisi untaian polipeptidanya berikatan.
- Struktur kuarterner, yaitu struktur 3 dimensi protein yang terdiri atas lebih dari satu rantai polipeptida. Setiap rantai polipeptida dapat merupakan polipeptida yang sama atau berbeda.



Gambar 2.2 Struktur Protein
Sumber: Biology Champbell, 2021

Enzim

Enzim adalah jenis protein yang berfungsi sebagai biokatalisator, mengkatalisis reaksi-reaksi kimia dan

biokimia di dalam atau di luar sel-sel hidup. Ada sekitar 3.000 enzim yang secara genetik diprogram untuk memelihara kelangsungan hidup. Contoh enzim antara lain adalah tripsin dan selulase

Hormon

Hormon adalah jenis protein yang berfungsi sebagai zat pengatur (contoh: metabolisme) dan dihasilkan oleh kelenjar endokrin tubuh atau sel-sel tertentu lainnya. Contoh hormon antara lain adalah estrogen, insulin, auksin, dan prolaktin.

B. Karbohidrat

Karbohidrat merupakan senyawa organik terdiri atas karbon, hidrogen, dan oksigen, dihasilkan melalui fotosintesis oleh tumbuhan hijau dan berperan sebagai sumber makanan dan energi bagi manusia dan hewan. Berdasarkan reaksi hidrolisis dan ukuran molekulnya, karbohidrat dibedakan menjadi karbohidrat sederhana (monosakarida dan disakarida) dan karbohidrat kompleks (polisakarida).

1. Monosakarida

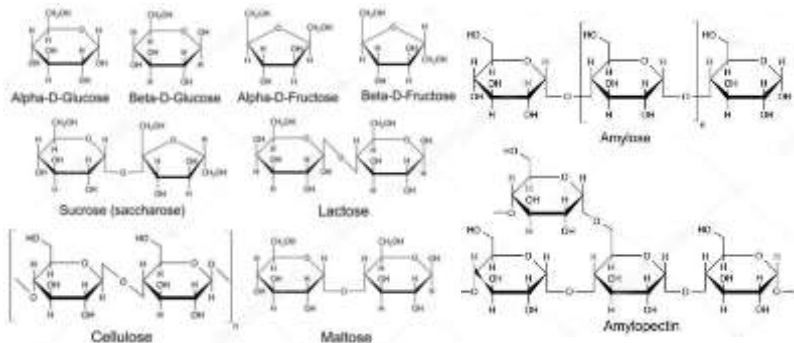
Merupakan monomer gula, yang tersusun dari rangkaian CH_2O atau kelipatannya. Setiap molekul mengandung gugus hydroxyl dan satu gugus carbonyl. Monosakarida merupakan sumber energi bagi aktivitas seluler. Glukosa and fruktosa merupakan suatu isomer, yaitu mempunyai atom yang sama akan tetapi susunannya berbeda.

2. Disakarida

Disakarida tersusun atas dua monosakarida yang terikat melalui sintesis dehidrasi. Maksud dari sintesis dehidrasi yaitu hilangnya air saat proses pembentukan disakarida. Disakarida dapat dipecah menjadi monosakarida kembali dengan menggunakan air (hidrolisis). Contoh-contoh disakarida adalah sukrosa (glukosa + fruktosa), laktosa (glukosa + galaktosa), dan maltosa (glukosa + glukosa).

3. Polisakarida

Polisakarida adalah rantai panjang dari monomer gula yang terikat bersama-sama. Polisakarida yang paling terkenal adalah selulosa, yaitu senyawa pembentuk dinding sel tumbuhan. Ilmuwan memperkirakan bahwa tumbuhan mensintesis lebih dari satu triliun ton selulosa setiap tahunnya. Selain selulosa, contoh polisakarida lainnya adalah amilum (zat pati).



Gambar 2.3 Struktur Karbohidrat
Sumber:www.depositphotos.com

Beberapa fungsi penting karbohidrat sebagai berikut.

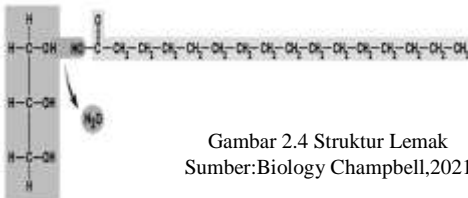
- 1) Komponen utama penyusun membran sel.
- 2) Sumber energi utama.
- 3) Berperan penting dalam metabolisme, menjaga keseimbangan asam dan basa, pembentuk struktur sel, jaringan, dan organ tubuh.
- 4) Membantu proses pencernaan makanan dalam saluran pencernaan, misalnya selulosa.
- 5) Membantu penyerapan kalsium, misalnya laktosa.
- 6) Merupakan bahan pembentuk senyawa lain, misalnya protein dan lemak.

- 7) Ribosa (karbohidrat berat C lima) merupakan komponen yang penting dalam pewarisan sifat.
- 8) Sumber energi dalam proses respirasi.

C. Lipid

Lipid merupakan zat lemak yang tersusun atas unsur karbon (C), hidrogen (H), dan oksigen (O), serta fosfor (P) serta nitrogen (N). Selain sebagai penyusun membran sel, sebagian lipid disimpan sebagai sumber energi sekunder. Lipid tidak larut dalam air, tetapi dapat larut dalam pelarut organik (alkohol, eter, dan lainnya). Terdapat beberapa jenis lipid, yang terpenting adalah lemak, fosfolipid, dan steroid.

1. Lemak



Gambar 2.4 Struktur Lemak
Sumber: Biology Champbell, 2021

Lemak merupakan molekul organik kompleks yang disebut trigliserida berfungsi sebagai sumber energi.

Sintesis lemak merupakan sintesis dehidrasi antara molekul gliserol dan asam lemak. Gliserol adalah rangkai karbon yang memiliki tiga gugus alkohol dengan rumus empiris $C_3H_4(OH)_3$.

Asam lemak merupakan rantai karbon yang panjang yang memiliki gugus karboksil. Asam lemak dibagi menjadi dua berdasarkan keberadaan ikatan rangkap, yaitu asam lemak jenuh (memiliki ikatan rangkap) dan asam lemak tak jenuh (tidak memiliki ikatan rangkap).

2. Fosfolipid

Fosfolipid merupakan lipid yang berjumlah banyak (sebagai lesitin atau fosfatidietanolamin) yang di dalamnya asam fosfat serta asam lemak diesterifikasi menjadi gliserol dan terdapat dalam semua sel hidup serta dalam plasma membran. Fosfolipid merupakan jenis lemak

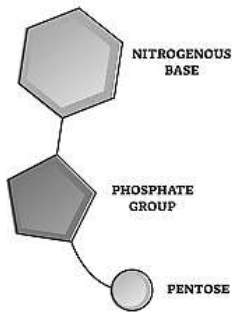
majemuk. Beberapa fungsi fosfolipid antara lain adalah: lesitin membawa lemak dalam aliran darah dari satu jaringan ke jaringan lainnya; fosfatidiletanolamin berperan dalam proses pembekuan darah; dan fosfolipid merupakan komponen utama dinding sel.

3. *Steroid*

Steroid merupakan senyawa turunan lipid yang tidak terhidrolisis. Steroid berfungsi sebagai hormon, seperti hormon seks, hormon adrenal kortikal, asam empedu, sterol, dan agen anabolisme. Contoh-contoh steroid antara lain adalah kolesterol, estrogen, dan testosteron.

D. Asam Nukleat

Asam nukleat adalah polimer senyawa organik penyimpan informasi genetik di dalam sel. Berdasarkan jenis gula penyusunnya, asam nukleat dibagi menjadi dua, yaitu asam deoksiribonukleat (DNA) dan asam ribonukleat (RNA). DNA berfungsi sebagai materi genetik, sedangkan RNA berperan penting dalam menggunakan informasi genetik untuk memproduksi protein.



Gambar 2.5 Struktur Nukleotida
Sumber:www.depositphotos.com

Baik DNA maupun RNA berupa anion yang terikat oleh protein bersifat basa, yang disebut nukleoprotein. Molekul asam nukleat merupakan suatu polimer seperti protein tetapi monomernya adalah nukleotida.

Setiap nukleotida terdiri dari tiga bagian: (1) 1 molekul pentosa, yang bisa menjadi ribosa atau deoksiribosa, (2) 1 grup fosfat, dan (3) 1 basa nitrogen.

Basa nitrogen yang dimiliki ialah satu dari 5 jenisnya. Dua diantaranya lebih besar dari yang lain, molekul cincin ganda

Adenin dan Guanin, basa yang terkecil adalah basa cincin tunggal Timin, Sitosin, dan Urasil.

Tabel 3.1 Penyusun Nukleotida

Penyusun	DNA	RNA
Fosfat	gugus fosfat	gugus fosfat
Basa Nitrogen	basa purin (ATCG)	pirimidin (UACG)
Gula	deoksiribosa (2-deoksi-D-ribosa)	ribosa

Polimer nukleotida terbentuk melalui adanya ikatan fosfodiester posisi 3'C satu nukleotida dengan posisi 5'C nukleotida yang lain. DNA terdiri atas dua rangkaian heliks anti-paralel (paralel berlawanan arah) yang melilit ke kanan suatu poros dengan ukuran lilitan 36 \AA , yang mengandung 10.5 pasangan basa per putaran. Bagian luar terdapat kerangka yang berselang-seling antara gugus deoksiribosa dan fosfat. Di bagian dalam terdapat ikatan hidrogen antara basa purin dan pirimidin. Basa penyusun suatu benang DNA yang antiparalel tidak sama melainkan bersifat komplemen terhadap benang pasangannya.

RNA terbentuk dari rantai poliribonukleotida dengan susunan basa A, G, S, U. Ada tiga jenis RNA yaitu RNA transfer (t-RNA), RNA ribosom (r-RNA), dan RNA kurir (m-RNA). Ketiganya berperan dalam pengiriman informasi genetik dari DNA ke protein. Pada pengemasan DNA di dalam sel, struktur DNA memadat membentuk struktur seperti “kupu-kupu” yang disebut *kromosom*.



Q.S. Fushshilat ayat 11-12

ثُمَّ اسْتَوَىٰ إِلَى السَّمَاءِ وَهِيَ دُخَانٌ فَقَالَ لَهَا وَلِلْأَرْضِ ائْتِيَا طَوْعًا
أَوْ كَرْهًا قَالَتَا أَتَيْنَا طَائِعِينَ ﴿١١﴾
فَقَضَيْنَ سَبْعَ سَمَوَاتٍ فِي يَوْمَيْنِ وَأَوْحَىٰ فِي كُلِّ سَمَاءٍ أَمْرَهَا
وَزَيْنَا السَّمَاءَ الدُّنْيَا بِمَصْبِيحٍ وَحِفْظًا ذَلِكَ تَقْدِيرُ الْعَزِيزِ
الْعَلِيمِ ﴿١٢﴾

Artinya: Kemudian Dia menuju langit dan langit itu masih merupakan asap, lalu Dia berkata kepadanya dan kepada bumi: "Datanglah kamu keduanya menurut perintah-Ku dengan suka hati atau terpaksa." Keduanya menjawab: "Kami datang dengan suka hati." Maka Dia menjadikannya tujuh langit dalam dua masa dan Dia mewahyukan pada tiap-tiap langit urusan-Nya. Dan kami hiasi langit yang dekat dengan bintang-bintang yang cemerlang dan Kami menjadikannya dengan sebaik-baiknya. Demikianlah ketentuan Yang Maha Perkasa lagi Maha Penyayang.

3

STUKTUR SEL DAN ORGANEL PENYUSUNNYA

Kompetensi Dasar:

Memahami struktur, fungsi, dan siklus sel

A. Struktur Umum Sel

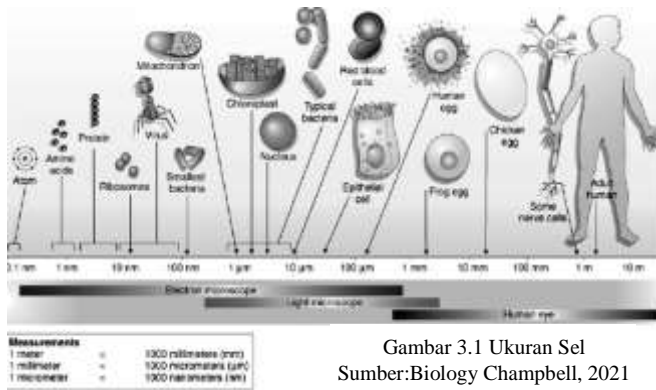
Sel merupakan unit struktural dan fungsional dasar dari kehidupan

Teori sel dicetuskan oleh dua orang ahli Jerman M. J. Schleiden (1838) dan Theodore Schwann (1839). Sel pertama kali ditemukan oleh Robert Hooke (1635—1705) pada sel-sel irisan gabus seperti penjara sehingga disebut “*cella*” (kamar kecil).

Beberapa ahli yang meneliti tentang sel diantaranya:

1. Schleiden (1840—1891) dan Schwann (1810—1882) yang menyatakan bahwa makhluk hidup terdiri atas sel-sel. Sel merupakan unit struktural makhluk hidup.
2. Robert Brown (1813) menemukan nukleus dan menyatakan bahwa nukleus merupakan bagian yang penting dari sel.
3. Felix Dujardin (1835), menyatakan bahwa bagian yang penting adalah cairan sel
4. Johannes Purkinje (1787—1869) menemukan bahwa cairan sel adalah protoplasma.
5. Max Schultze (1825—1874) menyatakan bahwa protoplasma merupakan dasar fisik kehidupan dan sel merupakan unit fungsional dari kehidupan.

6. Rudolf virchow (1858) menyatakan “*omne cellula ex cellulae*“, artinya sel berasal dari sel sebelumnya.



Perhatikan gambar perbandingan ukuran sel dengan struktur lain di samping!

Gambar 3.1 Ukuran Sel
Sumber: Biology Champbell, 2021

Ukuran sel berkisar $10 \mu\text{m} - 0,2 \mu\text{m}$ (200 nm), sedangkan ukuran organel sel berkisar $200 \text{ nm} - 1 \text{ nm}$. Berdasarkan organel dan perkembangan evolusinya, sel dibagi menjadi eukaryot dan prokaryot. Persamaan sel prokaryot dan eukaryota



Gambar 3.2 Perbandingan sel Eukaryot dan Prokaryot
Sumber: biology-forums.com

- Susunan plasma membran sama
- Informasi genetik yang dikode DNA menggunakan kode genetik (kodon)
- Mekanisme transkripsi dan translasi informasi genetik sama, termasuk ribosomnya
- Terdapat pemisahan jalur metabolisme (misal glikolisis dan TCA)
- Apparatus sama untuk konservasi energi kimia seperti ATP (pada prokaryota terdapat di membran plasma dan pada eukaryota terdapat di membran mitokondria)

- f. Mekanisme fotosintesis sama (antara cyanobacteria dan tumbuhan hijau daun)
- g. Mekanisme sama untuk sintesis dan penyelipan atau penambahan protein membran
- h. Proteasom (struktur protein digesti) sama susunannya.

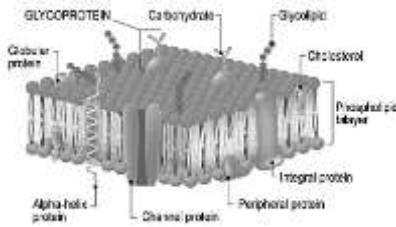
Tabel 3.1 Perbedaan Sel Prokariotik dan Sel Eukariotik

Struktur	Prokariotik	Eukariotik	
		Hewan	Tumbuhan
Ukuran	<1-2 x 1-4 μ	> 5 μ	> 5 μ
Membran inti	Tidak ada	Ada	Ada
Jumlah kromosom	1 siklis	>1 siklis	>1 siklis
Membran sitoplasma	Tidak mengandung sterol	mengandung sterol	mengandung sterol
DNA inti	Tidak terikat histon	Terikat histon	Terikat histon
DNA organel	Tidak ada	Ada	Ada
Mitochondria	Tidak ada	Ada	Ada
Kloroplas	Tidak ada	Tidak ada	Ada
Ribosom plasma	70 S	80 S	80 S
Ribosom organel	Tidak ada	70 S	70 S
Retikulum endoplasma	Tidak ada	Ada	Ada
Aparatus golgi	Tidak ada	Ada	Ada
Vakuola	Tidak ada	Tidak ada	Ada
Lisosom	Tidak ada	Ada	Ada

B. Organel Sel

1. Membran Sel

Membran sel memisahkan sitoplasma dan organel sel dari lingkungan luar sel. Pada sel tumbuhan, membran sel terletak di bagian dalam dinding sel. Fungsi biologis membran sel tergantung pada molekul penyusunnya yaitu protein, lipid dan



Gambar 3.3 Membran Sel
Sumber: www.depositphotos.com

karbohidrat berupa glikoprotein dan glikolipid yang membentuk lapisan dengan sifat semi-permeabel. Sifat semi-permeabel ini berfungsi sebagai penyaring zat-zat yang bisa keluar dan masuk ke dalam sel.

Membran sel terbentuk oleh lipid bilayer, artinya ada dua lapis lipida penyusunnya, bagian hidrofobik (ekor lipid-asam lemak) berada di bagian dalam, sedangkan bagian hidrofilik (kepala lipid-fosfat) berada di bagian luar. Protein penyusun membran sel terdiri dari dua jenis, yaitu protein integratif (konjugasi) dan perifer (melekat) pada lapisan fosfolipid.

2. Dinding Sel

Dinding sel adalah matriks ekstraseluler yang menyelubungi sel tumbuhan dan berada di luar membran plasma. Dinding sel dapat dijumpai pada sel tumbuhan. Bahan utama penyusun dinding sel adalah selulosa yang tersusun dari unit-unit glukosa. Selain selulosa dinding sel juga mengandung pektin, hemiselulosa, dan glikoprotein.

Dinding sel berfungsi sebagai penyokong mekanik dan memberi bentuk pada sel. Dalam hal tertentu dinding sel berperan untuk melindungi sel agar tidak mengalami lisis. Dinding sel ketebalannya berkisar antara 0,1 mikron sampai beberapa mikron, sehingga dapat menghambat pergerakan sel itu sendiri.

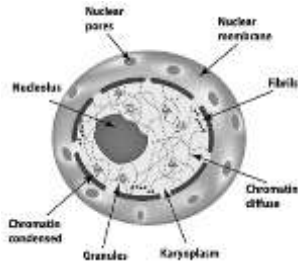
3. Sitoplasma

Sitoplasma adalah matriks yang berada di dalam membran plasma dan di luar nukleus. Sitoplasma tersusun dari sitosol yang bersifat koloid dan mengandung nutrien, ion, enzim,

garam, molekul organik dan air, dan organel bermembran dan tidak bermembran. Fungsi sitoplasma adalah tempat berlangsungnya metabolisme sitosolik (glikolisis dan sintesis protein oleh ribosom), tempat penyimpanan bahan kimia kimia yang berguna bagi metabolisme sel (enzim, protein, dan lemak), sarana bagi organel tertentu untuk bergerak dalam sel dengan adanya aliran sitoplasma.

4. Nukleus

Nukleus atau inti sel adalah bagian inti dari sebuah sel. Nukleus memiliki membran ganda berpori yang merupakan hasil fusi membran luar dan dalam, berukuran 60 nm yang berguna untuk pertukaran materi genetik (nukleoprotein) dari nukleoplasma ke sitoplasma. Nukleoplasma mengandung kromosom dan nukleolus (anak inti). Nukleolus merupakan bagian yang kaya dengan ribosomal RNA.



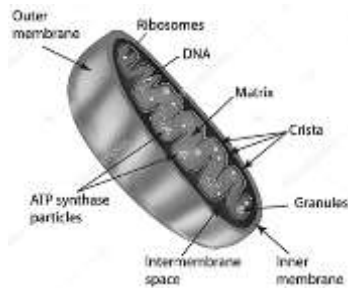
Gambar 3.4 Nukleus
Sumber: www.depositphotos.com

Struktur kromosom terlihat dengan jelas pada saat sel melakukan pembelahan (metafase). Pada saat interfase hanya benang-benang kromatin saja yang terlihat. Fungsi inti sel adalah mengendalikan proses berlangsungnya metabolisme di dalam sel, menyimpan informasi genetik (gen) dalam bentuk DNA, mengatur kapan dan di mana ekspresi gen harus dimulai, dijalankan, dan diakhiri, dan tempat terjadinya replikasi dan transkripsi.

5. Mitokondria

Mitokondria merupakan organel berukuran antara 0,2 μm - 5 μm yang berfungsi sebagai penghasil energi. Jumlahnya berkisar dari hanya beberapa buah sampai lebih dari 1000 buah per sel. Sel-sel yang aktif atau yang memerlukan energi lebih

besar memiliki mitokondria yang lebih banyak, misalnya sel hati yang mengandung lebih dari 1000 mitokondria.



Gambar 3.5 Mitokondria
Sumber: www.depositphotos.com

Setiap mitokondria dibungkus oleh suatu membran ganda yang terdiri atas suatu lapisan ganda molekul fosfolipid. Membran luar bersifat licin, sedangkan membran dalam melipat berulang-ulang menjadi lipatan-lipatan yang masuk ke dalam ruang mitokondria yang disebut krista. Di

dalam krista terdapat enzim untuk sistem *transmiteme electron* yang sangat penting untuk mengubah NADPH dan FADH hasil respirasi sel menjadi ATP. ATP inilah yang digunakan oleh sel untuk melakukan berbagai kegiatan.

6. Retikulum Endoplasma

Retikulum endoplasma merupakan labirin membran yang demikian banyak, sampai separuh lebih dari total membran dalam sel-sel eukariotik. Retikulum endoplasma terdiri dari jalinan tubula dan gelembung membran yang disebut sisterna. Membran retikulum endoplasma memisahkan ruangan internal, yaitu ruang sisternal dari sitosol. Membran retikulum endoplasma bersambungan dengan selubung nukleus, ruang di antara kedua membran selubung itu bersambungan dengan ruang sisternal.

Retikulum endoplasma dibagi menjadi dua, yaitu retikulum endoplasma kasar (permukaan sitoplasmik membran terikat ribosom yang terlihat menonjol) dan retikulum endoplasma halus (permukaan sitoplasmiknya tidak terikat ribosom). Retikulum endoplasma halus berbagai jenis sel berfungsi dalam bermacam-macam proses metabolisme, termasuk sintesis lipid, karbohidrat, dan menawarkan obat dan

racun. Banyak jenis sel terspesialisasi mensekresi protein yang dihasilkan oleh ribosom yang dilekatkan pada retikulum endoplasma kasar, misalnya sel-sel pankreas mensekresi protein insulin.

7. Ribosom

Ribosom merupakan struktur multimolekular yang berperan sebagai pabrik dalam sintesis protein. Ribosoma dibangun dari molekul protein dan rRNA. Jumlah ribosoma di dalam suatu sel sangat banyak dan berbeda-beda sesuai dengan jenis organismenya. Misalnya, bakteri yang sedang tumbuh mengandung sekitar 20.000 ribosoma.

Ribosoma merupakan butir globular dengan garis tengah sekita 150-200A yang menyebarkan atau menyerap elektron sangat kuat. Butir-butir ini ditemukan dalam semua sel prokariotik maupun eukariotik. Pada sel prokariotik, ribosoma terdapat bebas di sitosol, sedangkan pada eukariotik terdapat bebas di sitosol, matriks mitokondria, stroma kloroplas, atau menempel pada retikulum endoplasma (RE). Hubungan struktural antara RE dengan ribosom membentuk REG yang juga disebut dengan ergastoplasma.

8. Badan Golgi

Badan golgi sering juga disebut kompleks golgi atau apparatus golgi, yang terdiri atas kumpulan vesikel pipih yang berbentuk kantong dan dibungkus oleh membran tunggal. Kompleks golgi pada sel tumbuhan biasanya tersebar secara acak, disebut diktiosom, jumlah yang bervariasi, tergantung jenis jaringan dan spesies organisme yang bersangkutan.

Badan golgi dikelilingi oleh vesikula dengan berbagai ukuran yang dilepaskan dari bagian tepi badan golgi atau dari retikulum endoplasma kasar. Badan golgi berfungsi memodifikasi produk sekresi, sekresi enzim, glikosilasi protein produk RE kasar, pembuatan membran untuk vesikula,

membran plasma, dan membran internal lainnya termasuk lisosom primer.

Pada proses sekresi sel, protein yang disintesis dalam RE kemudian berkumpul dalam badan golgi untuk dibubuhi karbohidrat. Setelah penuh akan bergerak dalam bentuk vesikel ke permukaan sel untuk melakukan sekresi. Badan golgi pada sel tumbuhan berfungsi dalam penyusunan dinding sel dan mengubah protein yang berasal dari RE kasar, sebagai tempat memproses dan menyimpan hasil metabolit yang dibuat oleh sel.

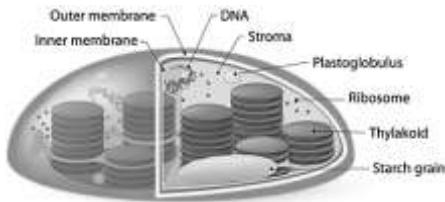
9. Kloroplas

Kloroplas adalah salah satu bentuk plastida yang terdapat dalam sitoplasma sel eukariotik. Kloroplas membantu tumbuhan mengkonversi CO_2 dan H_2O menjadi $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ (karbohidrat) dengan bantuan cahaya matahari, yang disebut proses fotosintesis. Kloroplas berbentuk agak lonjong dan dibatasi oleh dua membran yaitu membran luar yang kontinu dan relatif rata dan membran dalam (membran internal) mempunyai banyak lipatan dan tonjolan.

Membran kloroplas mengandung banyak protein integral pada lipid bilayer yang memiliki berbagai enzim, protein pembentuk sitokrom, pembentuk ATP (ATP-ase), dan pigmen.

Membran dalam kloroplas terdiri atas susunan lempeng-lempeng paralel, disebut lamella dan didukung oleh suatu matriks yang bersifat homogen, disebut stroma (tempat berlangsungnya reaksi gelap fotosintesis).

Membran-membran yang tersusun berupa kantong-kantong tipis, disebut tilakoid (tempat berlangsungnya reaksi terang fotosintesis) menumpuk satu sama lain membentuk



Gambar 3.6 Kloroplas
Sumber: www.depositphotos.com

struktur yang disebut grana/granum. Membran lamella yang menghubungkan grana disebut lamella stroma. Stroma kloroplast mengandung DNA dan ribosom seperti halnya pada mitokondria. Tilakoid mengandung klorofil.

10. Sitoskeleton

Sitoskeleton merupakan jaringan serat yang mengorganisasi struktur dan aktivitas di dalam sel. Sitoskeleton membentang di seluruh sitoplasma dan memiliki peran penting untuk memberi kekuatan mekanik sel, kerangka sel dan membantu gerakan substansi dari satu bagian sel ke bagian yang lain. Sitoskeleton terdiri atas tiga tipe struktur, yaitu mikrotubul, mikrofilamen dan filamen intermediet.

- *Mikrotubular*

Batang-batang berongga memiliki dinding yang tersusun dari protein tubular (tubulin) dengan diameter sekitar 25 nm dan panjang 200 nm - 25 μ m. Mikrotubulus berperan dalam pemisahan kromosom saat pembelahan sel.

- *Mikrofilamen*

Mikrofilamen berdiameter 7 nm ini disebut juga filamen aktin karena tersusun atas molekul-molekul aktin (*actin*), sejenis protein globular. Suatu mikrofilamen merupakan seutas rantai ganda subunit-subunit aktin yang memuntir. Selain berbentuk lurus, ada juga yang berbentuk jaring struktural karena ada protein yang berikatan di sepanjang filamen aktin. Mikrofilamen berperan dalam motilitas sel, terutama sebagai bagian apparatus kontraktile sel otot. Peran struktural mikrofilamen dalam sitoskeleton adalah menahan tegangan.

- *Filamen intermediet*

Dinamakan intermediet karena berdiameter 8-12 nm, lebih besar dibandingkan dengan diameter mikrofilamen namun lebih kecil mikrotubulus. Filamen intermediet berfungsi untuk menahan tegangan (seperti mikrofilamen) dan terdiri

dari berbagai kelas unsur sitoskeleton. Filamen intermediet dapat diurai dan dirakit kembali di bagian sel, dan tetap bisa bertahan walaupun sel mati, contohnya pada lapisan terluar kulit yang terdiri atas sel-sel kulit mati yang penuh protein keratin.

11. Vakuola

Vakuola dibatasi oleh membrane tunggal, terbentuk oleh penggabungan vakuola-vakuola kecil selama pertumbuhan dan perkembangan sel tumbuhan. Vakuola berfungsi sebagai tempat penyimpanan air dan produk-produk sel atau metabolit intermediet. Sel tumbuhan dewasa umumnya mengandung satu vakuola sentral yang besar yang dibungkus oleh membran yang disebut tonoplas, yang merupakan bagian dari sistem endomembrannya.

12. Lisosom

Lisosom berbentuk agak bulat, lebih kecil dari mitokondria, memiliki membran tunggal, dibentuk dari apparatus golgi, kaya akan protein enzim-enzim hidrolitik. Lisosom berfungsi dalam pencernaan intraseluler pada berbagai keadaan, baik secara heterofagi maupun secara autofagi. Berdasarkan kegiatan fisiologisnya, lisosom dibedakan menjadi lisosom primer, lisosom sekunder (heterolisosom dan otolisosom), dan badan-badan residu (telolisosom). Lisosom dapat melakukan perusakan sel untuk perkembangan organisme bersangkutan. Jika membrane lisosom pecah, enzim-enzim yang dilepaskan dapat menghancurkan sel.

13. Flagela/Silia

Flagella dan silia digerakkan oleh mikrotubul, sebagai alat bantu pergerakan sel. Banyak organisme eukariotik uniseluler bergerak di air dengan bantuan silia dan flagel, misalnya

sperma hewan, algae, serta sejumlah tumbuhan. Silia (rambut getar) biasanya tersebar pada permukaan sel, sedangkan flagel hanya satu atau beberapa. Silia berdiameter 0,25 μm dan panjang sekitar 2 – 20 μm , sedangkan flagel berdiameter sama dengan silia, namun lebih panjang yaitu sekitar 10 – 200 μm .



Q. S. Al Furqan ayat 2

الَّذِي لَهُ مُلْكُ السَّمَاوَاتِ وَالْأَرْضِ وَلَمْ يَتَّخِذْ وَلَدًا وَلَمْ يَكُنْ لَهُ
شَرِيكٌ فِي الْمُلْكِ وَخَلَقَ كُلَّ شَيْءٍ فَقَدَرَهُ تَقْدِيرًا

Artinya: yang kepunyaan-Nya-lah kerajaan langit dan bumi, dan Dia tidak mempunyai anak, dan tidak ada sekutu bagi-Nya dalam kekuasaan(Nya), dan dia telah menciptakan segala sesuatu, dan Dia menetapkan ukuran-ukurannya dengan serapi-rapinya.

4

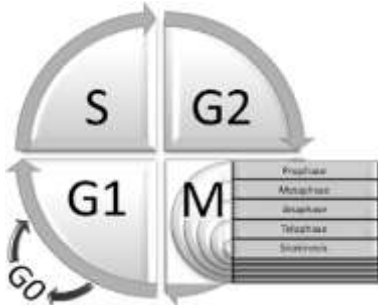
SIKLUS SEL

Kompetensi Dasar:

Memahami struktur, fungsi, dan siklus sel

Setiap menit, tubuh kita sekarat. Setiap menit, tubuh kita kehilangan 300.000.000 sel! Lalu mengapa kita tidak membusuk?

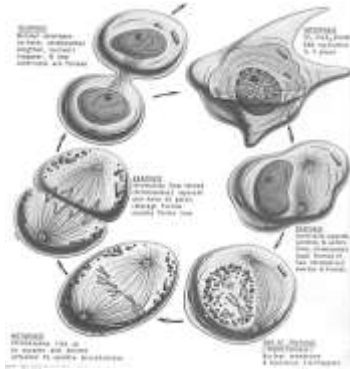
Sel mengalami siklus, yaitu periode yang diperlukan atau dialami oleh sel untuk beregenerasi, biasanya terjadi pada sel eukariotik. Pada sel prokariotik, tidak ada siklus sel, duplikasi kromosom dan distribusinya dilakukan melalui asosiasi kromosom dengan membran sel pada waktu segmentasi sel. Pada eukariotik, pengaturan siklus sel dipengaruhi oleh faktor pertumbuhan sehingga siklus sel disesuaikan dengan kebutuhan fisiologi sel.



Gambar 4.1 Siklus Sel

Amitosis disebut juga pembelahan langsung, karena pada mekanismenya, inti membelah tanpa melibatkan pembentukan kromosom. Disebut juga pembelahan biner, Pembelahan sel diawali dengan memanjangnya sel dan inti, kemudian diikuti dengan sitokinesis. Amitosis terjadi pada sel-sel prokariotik, contohnya pada bakteri dan Archaea.

A. Mitosis



Gambar 4.2 Mitosis
Sumber: William, 1999

Mitosis adalah proses pembelahan sel somatis (sel tubuh) yang menghasilkan 2 anakan sel diploid ($2n$). Secara garis besar, pembelahan sel secara mitosis terdiri dari (fase persiapan) interfase, fase pembelahan inti (kariokinesis) dan fase pembelahan sitoplasma (sitokinesis).

1. Interfase

Pada tahap ini, sel dianggap “istirahat” dari proses pembelahan. Namun sebenarnya tahap interfase merupakan tahap yang aktif dan penting untuk mempersiapkan pembelahan. Pada umumnya, sebagian besar waktu hidup sel berada pada tahap ini.

- *fase gap-1* (G1). Sel-sel belum mengadakan replikasi DNA, sehingga DNA masih berjumlah 1 salinan ($1c=1$ copy=salinan) dan diploid ($2n$).
- *fase sintesis* (S). DNA dalam inti sel mengalami replikasi (penggandaan jumlah salinan) sehingga pada fase sintesis akhirnya menghasilkan 2 salinan DNA dan diploid ($2c, 2n$).
 - *fase gap-2* (G2). Replikasi DNA telah selesai, dan sel bersiap-siap mengadakan pembelahan.

2. Profase

Pada tahap profase, DNA mulai dikemas atau dipaket menjadi kromosom. Profase merupakan tahap paling lama dalam mitosis. Pada proses awal, kromosom mulai tampak lebih pendek serta menebal. Pada sel hewan, sentriol membelah dan masing-masing bergerak ke kutub yang

berlawanan pada nukleus. Selanjutnya terbentuk benang-benang spindel (benang mikrotubul) yang terhubung dari kutub ke kutub. Sel tumbuhan yang tidak memiliki sentriol, benang spindel terbentuk tanpa terikat pada sentriol. Pada profase akhir, masing-masing kromosom terlihat terdiri dari dua kromatid yang terikat pada sentromer. Selanjutnya, nukleolus hilang dan membran nukleus hancur sehingga kromosom terletak bebas di dalam sitoplasma.

3. Metafase

Metafase merupakan tahap yang singkat. Kromosom terikat pada benang spindel pada sentromer dan ditarik ke bidang ekuator oleh benang spindel. Kromosom ditarik ke bidang ekuator agar pembagian jumlah informasi DNA yang akan diturunkan pada sel anakan sama jumlahnya.

4. Anafase

Anafase juga merupakan tahap yang singkat. Masing-masing sentromer yang mengikat kromatid membelah bersamaan sehingga kromatid ditarik menuju kutub pembelahan karena kontraksi benang spindel. Pada saat kontraksi, benang spindel memendek kemudian menarik kromatid menjadi dua bagian ke dua kutub yang berlawanan. Tahap anafase menghasilkan salinan kromosom berpasangan.

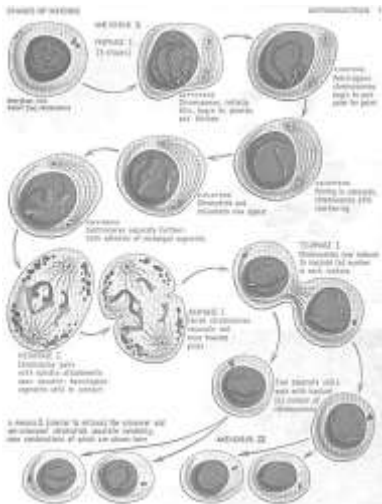
5. Telofase

Pada tahap ini kromatid disebut kromosom dan membentuk benang kromatin. Membran inti mulai terbentuk dan nukleolus kembali muncul. Pada akhir tahap telofase, terjadi pembelahan sitoplasma dengan proses yang disebut sitokinesis.

Salah satu tujuan utama dari mitosis adalah pertumbuhan alami dari organisme induk. Ini juga dilakukan untuk mengganti sel-sel yang rusak, atau proses penggantian sel terprogram. Beberapa hewan juga menggunakan proses ini untuk menumbuhkan bagian tubuh, misalnya cicak yang bisa

menumbuhkan kembali ekornya. Selain itu, mitosis dimanfaatkan untuk reproduksi vegetatif.

B. Meiosis



Gambar 4.3 Meiosis
Sumber: William, 1999

Pada meiosis, sel yang diploid menghasilkan empat sel haploid. Dalam sel manusia, misalnya, sel yang mengandung 46 kromosom menghasilkan empat sel, masing-masing dengan 23 kromosom.

Meiosis terjadi dengan serangkaian langkah-langkah yang menyerupai langkah-langkah mitosis. Dua fase utama meiosis terjadi: meiosis I dan meiosis II. Selama meiosis I, satu sel membelah menjadi dua. Selama meiosis II, dua sel masing-masing membelah lagi.

Meiosis I

Pada awal meiosis I, sel manusia mengandung 46 kromosom, atau 92 kromatid (jumlah yang sama seperti selama mitosis). Meiosis I berlangsung melalui beberapa tahap sebagai berikut:

- Profase I. Kromatid memendek dan menebal dan terlihat di bawah mikroskop. Prophase I memerlukan waktu yang panjang dan terbagi menjadi 5 tahap, yaitu: *leptotene*, *zygotene*, *pachytene*, *diplotene* dan *diakinesis*. Pada *leptotene*, kromosom yang terdiri atas 2 kromatid yang bergabung di sentromer, mulai berkondensasi, membentuk rantai yang panjang dalam nukleus. Pada *zygotene*, pasangan-pasangan kromosom yang homolog saling mendekati dan berada dalam 1 deret dan bersinaps melalui

synaptonemal complex, membentuk tetrad. Tahap *pachytene* ditandai ketika kromosom melanjutkan berkondensasi dan menebal serta memendek. Terbentuk pula *chiasmata* (tempat terjadinya *crossing over*) sebagai pertukaran materi genetik antara kromosom yang homolog. Dalam tahap *diplotene*, kromosom terus berkondensasi dan mulai memisah, menampakkan *chiasmata*. Pada tahap *diakinesis*, kromosom berkondensasi maksimal dan nukleolus menghilang, demikian pula dengan membran nukleus sehingga kromosom berada bebas dalam sitoplasma.

- b. Metafase I. Tetrad menyelaraskan pada bidang ekuator (seperti pada mitosis). Sentromer menempel pada benang spindel yang membentang dari kutub sel. Satu sentromer menempel pada satu serat spindel.
- c. Anafase I. Terjadi migrasi kromosom (yang masih mengandung 2 kromatid) ke kutub yang berlawanan. Hasilnya adalah bahwa 23 kromosom (masing-masing terdiri dari dua kromatid) pindah ke salah satu tiang, dan 23 kromosom (masing-masing terdiri dari dua kromatid) pindah ke kutub yang lain.
- d. Telofase I. Inti terbentuk, kromosom menjadi kromatin, dan pembagian sitoplasma menjadi dua sel berlangsung. Setiap sel anak (dengan 23 kromosom masing-masing terdiri dari dua kromatid) kemudian memasuki tahap interkinesis, fase istirahat sel yang sebenarnya.

Meiosis II

Meiosis II terjadi kurang lebih mirip seperti mitosis. Pada meiosis II, sel yang berisi 46 kromatid yang mengalami pembelahan menjadi dua sel, masing-masing dengan 23 kromosom. Meiosis II berlangsung melalui beberapa tahap sebagai berikut:

- a. Profase II. Materi kromatin menebal, dan setiap kromosom mengandung dua kromatid yang melekat pada sentromer. 23 pasang kromatid, kemudian pindah ke bidang ekuator.
- b. Metafase II. 23 pasang kromatid berkumpul di tengah sel sebelum pemisahan. Proses ini identik dengan metafase pada mitosis.
- c. Anafase II. Sentromer terikat oleh benang spindel, kemudian 46 kromosom terpisah satu sama lain. Tahap ini terjadi migrasi kromosom ke kutub yang berlawanan. Secara keseluruhan, 23 kromosom pindah ke masing-masing kutub pembelahan.
- d. Telofase II. Kromosom berkumpul di kutub sel membentuk massa kromatin. Selubung nukleus berkembang, nukleolus muncul kembali, dan sel mengalami sitokinesis seperti pada mitosis.

Dua sel yang mengalami meiosis II menghasilkan empat sel haploid. 23 kromosom dalam empat sel dari meiosis tidak identik karena pindah silang telah terjadi di profase 1. Pindah silang menghasilkan variasi sehingga masing-masing empat sel yang dihasilkan dari meiosis berbeda dari tiga lainnya. Dengan demikian, meiosis menyebabkan variasi dalam kromosom.



Q. S. Al Infitar ayat 7

الَّذِي خَلَقَكَ فَسَوَّاكَ فَعَدَلَكَ

Artinya: Yang telah menciptakan kamu lalu menyempurnakan kejadianmu dan menjadikan (susunan tubuh) mu seimbang.

5

METABOLISME SEL

Kompetensi Dasar:

Memahami mekanisme metabolisme sel

Mengapa nasi, daging dan susu disebut sebagai sumber energi? Bagaimana makanan-makanan tersebut diolah menjadi energi?

Metabolisme adalah reaksi biokimia yang terdapat pada makhluk hidup. Reaksi yang terjadi pada metabolisme terdapat dua macam yakni katabolisme dan

anabolisme. Katabolisme adalah reaksi penguraian sedangkan anabolisme reaksi penyusunan.

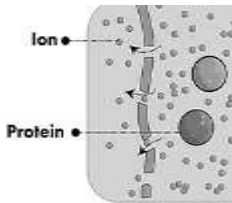
A. Transport Sel

Sel terdiri atas materi hidup yang disebut dengan protoplasma. Protoplasma sel dibatasi dari lingkungan sekitarnya oleh selaput sel tipis yang disebut dengan membran plasma (membran sel). Membran ini mempunyai kemampuan untuk mengatur secara selektif aliran materi dari dan keluar sel.

Membran merupakan media pemisah yang bersifat selektif permeabel dengan menahan komponen tertentu dan melewatkan komponen lainnya. Proses pemisahan dengan menggunakan membran pada pemisahan fasa cair-cair umumnya didasarkan atas ukuran partikel dan beda muatan dengan gaya dorong (*driving force*) berupa beda tekanan, medan listrik, dan beda konsentrasi.

1. Difusi

Proses difusi tergantung pd konsentrasi zat terlarut. Perembasan zat terlarut dari konsentrasi tinggi ke konsentrasi rendah, dapat terjadi tanpa melewati sekat atau melewati sekat, contohnya O_2 , CO_2 , air, elektrolit dan molekul organik sederhana. Difusi tanpa melewati sekat berlangsung pd protoplasma sendiri, misalnya ujung retikulum endoplasma ke ujung lain.



Gambar 5.1 Difusi
Sumber: www.shutterstock.com

Difusi lewat sekat misalnya difusi antara intra dan ekstra sel, antara sitoplasma dengan nukleoplasma. Difusi umum terdapat pada sel, tanpa energi. Berdasarkan carrier, difusi dibagi menjadi difusi bebas (bebas berdifusi) dan difusi terikat (diikat oleh *carrier*).

2. Osmosis

Osmosis merupakan transpor pasif zat pelarut pada dua larutan dengan konsentrasi zat terlarut yang berbeda. Pelarut keluar dari larutan hipotonik menuju larutan hipertonik melalui membran permeabel selektif. Berdasarkan konsentrasi zat terlarutnya, larutan dibagi menjadi tiga jenis:

- Hipertonik, apabila konsentrasi zat terlarut lebih tinggi (pekat) dibanding lingkungannya
- Hipotonik, apabila konsentrasi zat terlarut lebih rendah (encer) dibanding lingkungannya
- Isotonik, apabila konsentrasi zat terlarut sama dengan lingkungannya



Gambar 5.2 Osmosis pada Sel Hewan
Sumber: www.depositphotos.com

Dalam keadaan biasa sel isotonis dengan cairan lingkungannya. Kemampuan sel untuk menjaga tekanan osmosis disebut dengan homeostasis.

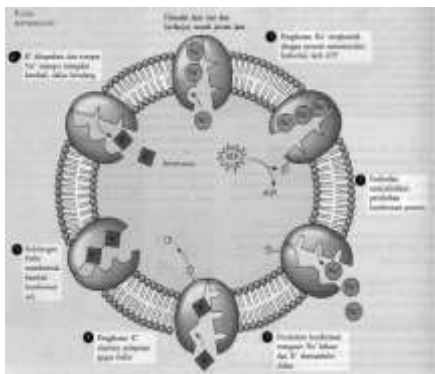
Eritrosit dalam media hipertonik akan terjadi krenasi, namun akan mengalami hemolisis jika diletakkan pada media hipotonis. Sel tumbuhan tidak mengalami haemolisis karena adanya dinding sel, namun jika diletakkan di media hipotonis sel tumbuhan mengalami plasmolisis.

3. Filtrasi

Transport zat terjadi karena perbedaan tekanan atmosfer antar 2 ruangan yang dipisahkan membran yg permeabel terhadap zat itu. Contohnya zat yang keluar dari lumen pembuluh darah kapiler ke sel jaringan sekitar akibat tekanan darah (pemompaan jantung).

4. Transpor Aktif

Merupakan pergerakan atau pemindahan yang



Gambar 5.3 Pompa Ion K dan Na
Sumber: Champbel, 2021

menggunakan energi untuk mengeluarkan dan memasukan ion - ion dan molekul melalui membran sel yang bersifat permeabel dengan tujuan memelihara keseimbangan molekul di dalam sel. Transpor aktif dipengaruhi oleh muatan listrik di dalam dan di luar sel, yang ditentukan oleh ion natrium (Na^+), ion kalium

(K^+), dan ion klorin (Cl^-). Keluar masuknya ion Na^+ dan K^+ diatur oleh pompa ion natrium - kalium.

5. Cytosis

Cytosis adalah aktivitas transport zat pada sel yang mengakibatkan lepasnya sebagian membran sel. Fragmen

membran langsung menjadi selaput zat yg ditransport. Berdasarkan caranya, dibagi menjadi eksositosis (mengeluarkan) dan endositosis (memasukkan). Menurut dimensi zat terbagi menjadi pinositosis (cairan) dan fagositosis (zat padat). Berdasarkan asal zat yg difagosit: hetero fagosit (ekstraselular) dan autofagosit (intraselular).

B. Anabolisme

Anabolisme adalah reaksi penyusunan zat yang berlangsung di dalam sel. Proses ini membutuhkan energi dari luar, berupa energi cahaya atau energi kimia. Energi tersebut, selanjutnya digunakan untuk mengikat senyawa-senyawa sederhana tersebut menjadi senyawa yang lebih kompleks.

1. Anabolisme Lemak

Anabolisme lemak disebut juga lipogenesis, yang terjadi di dalam sitoplasma yang memiliki enzim kompleks asam lemak sintetase. Lemak dapat disintesis dari protein dan karbohidrat. Lemak tersusun dari asam lemak dan gliserol. Asam lemak terbentuk dari Asetil KoA. Sintesis lemak berlangsung di retikulum endoplasma.

2. Anabolisme Protein

Protein tersusun atas senyawa asam amino. Penyusunan gugus amino (-NH₂) pada suatu substrat disebut aminasi. Ada 2 cara sintesis protein, yaitu:

- **Reaksi aminasi reduksi**

Dalam penyusunan asam amino, asam glutamat memegang peranan yang penting. Asam glutamat terbentuk oleh adanya reaksi antara asam -ketoglutarat dan NH₃ dengan bantuan ezim dehidrogenase glutamat. aminasi dari asam aksaloasetat menghasilkan asam aspartat, dan aminasi dari asam piruvat menghasilkan alanin.

- **Reaksi transaminasi**

merupakan reaksi yang melibatkan transfer atau pemindahan satu gugus amino dari suatu asam amino kesuatu asam -

ketoglutarat baru dan asam amino baru. Enzim yang berperan adalah enzim transaminase.

3. *Anabolisme Karbohidrat*

Fotosintesis yaitu peristiwa penyusunan zat organik dari zat anorganik yang terjadi di kloroplas dengan bantuan energi cahaya. Pada reaksi ini, terjadi asimilasi karbon karena bahan baku yang digunakan CO_2 . Reaksi fotosintesis bertujuan memecah gula menjadi CO_2 , H_2O , dan energi.

Reaksi sederhananya:



Reaksi Terang

Reaksi terang berlangsung di membran tilakoid kloroplas dan terjadi sintesis ATP dan NADPH menggunakan energi cahaya.

Molekul klorofil dan pigmen asesori (tambahan) membentuk satu kesatuan unit sistem yang dinamakan fotosistem. Setiap fotosistem menangkap cahaya dan memindahkan energi yang dihasilkan ke pusat reaksi, yaitu kompleks klorofil dan protein-protein yang berperan langsung dalam fotosintesis. Fotosistem I (PS1) terdiri atas klorofil a dan pigmen tambahan yang menyerap energi cahaya dengan panjang gelombang 700 nm sehingga sering disebut P700. Fotosistem II (PS2) tersusun atas klorofil a yang menyerap energi cahaya dengan panjang gelombang 680 nm sehingga sering disebut P680.

Terdapat 2 jalur perjalanan elektron, yaitu jalur elektron siklik dan jalur elektron nonsiklik. Reaksi nonsiklik melibatkan PS2 (P680), elektron ditangkap oleh P680 serta disalurkan ke PS1 (P700). Sedangkan reaksi siklik terjadi bila cahaya

ditangkap oleh P700 lalu elektron diteruskan ke akseptor elektron kemudian kembali ke P700.

Reaksi Gelap (Siklus Calvin)

Reaksi gelap adalah tahap kedua dalam proses fotosintesis yang disebut juga dengan nama siklus Calvin. Reaksi gelap terjadi pada bagian stroma kloroplas. Reaksi gelap disebut siklus karena reaksi-reaksi yang berlangsung berjalan berputar-putar dan kembali menjadi molekul asalnya. Reaksi gelap tidak membutuhkan cahaya matahari sebagai sumber energi.

Langkah-langkah reaksi dalam siklus Calvin terbagi menjadi 3 fase, yaitu fiksasi, reduksi, dan regenerasi.

- **Fiksasi karbon**

Ribulosa bifosfat mengikat CO₂ menghasilkan molekul 6 karbon yang tidak stabil dan segera pecah menjadi 2 molekul 3 fosfogliserat. Dalam sekali siklus terdapat 3 molekul ribulosa bifosfat yang menangkap 3 molekul CO₂ dan diubah menjadi 3 molekul berkarbon 6 yang tidak stabil sehingga langsung pecah menjadi 6 molekul 3 fosfogliserat.

- **Reduksi**

Masing-masing molekul 3 fosfogliserat yang menerima fosfat dari ATP berubah menjadi 1,3 difosfogliserat. Dibutuhkan 6 ATP untuk merubah 6 molekul 3 fosfogliserat menjadi 6 molekul 1,3 difosfogliserat. Molekul 1,3 difosfogliserat direduksi oleh NADPH menjadi gliseraldehida 3 fosfat (G3P). Satu kali siklus Calvin membutuhkan 6 molekul NADPH. Hasil dari tahap reduksi adalah 6 molekul gliseraldehida 3 fosfat dengan 1 molekul tersebut akan dikeluarkan untuk bahan baku glukosa sehingga tersisa 5 molekul G3P.

- **Regenerasi**

Tahap ini adalah pembuatan kembali ribulosa bifosfat (molekul dengan 5 atom C) dari sisa gliseraldehida 3 fosfat

3. Katabolisme Karbohidrat

Berdasarkan kebutuhan akan O_2 , respirasi dibedakan menjadi:

- Respirasi aerobik, menggunakan O_2 bebas untuk mendapatkan energi.
- Respirasi anaerobik, tidak menggunakan O_2 bebas untuk mendapatkan energi.

Contohnya respirasi, yang memecah makanan menjadi energi. Tahapan reaksi tersebut adalah sebagai berikut:



Katabolisme karbohidrat merupakan respirasi aerobik yang terdiri dari 4 tahap, yakni: glikolisis, dekarboksilasi oksidatif, siklus kreb, dan transpor elektron.

Glikolisis

Glikolisis adalah reaksi pemecahan molekul karbohidrat yang memiliki 6 karbon menjadi dua bagian. Tempat terjadinya glikolisis yakni di sitoplasma. Hasil glikolisis berupa 2 ATP. Glikolisis dibagi menjadi 3 tahap, yaitu:

- *Tahapan memerlukan energi.* Urutannya yakni glukosa \rightarrow glukosa-6 fosfat \rightarrow fruktosa-6 fosfat \rightarrow fruktosa 1,6 fosfat. Pada tahapan ini terdapat dua kali penambahan fosfat (P) yang berasal dari ATP. Perhatikan letak fosfat di gugus karbon untuk mempermudah menghafalkannya.
- *Tahapan pemecahan atom karbon / lisis.* Urutannya adalah fruktosa 1,6 fosfat \rightarrow fosfogliseraldehid (PGA). Pada langkah ini atom karbon yang semula berjumlah 6 dipecah menjadi dua sehingga masing-masing menjadi senyawa dengan 3 karbon.
- *Tahapan pelepasan energi.* Pada tahapan ini terjadi pelepasan energi berupa ATP. Kunci penting disini dimulai dari Fosfogliseraldehid terjadi penambahan fosfat anorganik dan

menghasilkan NADH. Fosfogliresaldehid diubah menjadi 1,3 fosfoglisarat yang memiliki dua fosfat. Ketika kedua fosfat tersebut dilepaskan, maka akan membentuk energi ATP.

Dekarboksilasi Oksidatif

Dekarboksilasi Oksidatif adalah reaksi perantara antara glikolisis dengan siklus krebs. Proses dekarboksilasi oksidatif dimulai dari sitoplasma menuju mitokondria. Dekarboksilasi mengubah asam piruvat yang memiliki 3 atom karbon menjadi asam sitrat yang memiliki 2 atom karbon. Hasil dekarboksilasi oksidatif yakni 2 NADH dan 2 CO₂.

Siklus Krebs

Diberi nama sesuai dengan penemunya yakni Hans Krebs, juga disebut siklus asam sitrat. Ciri siklus krebs yaitu berlangsung secara aerob. Fungsi siklus krebs adalah menghasilkan elektron dalam jumlah besar. Dalam satu siklus, produksi hasil dari siklus krebs adalah 2 CO₂, 3 NADH, 1 FADH₂, dan 1 ATP.

Note: Tempat terjadinya siklus krebs yakni di matriks mitokondria. Hasil dari siklus krebs yakni dihitung **dua siklus** karena ada dua asetil ko-A dari reaksi sebelumnya, sehingga hasil dua siklus krebs yakni 6 NADH, 2 FADH, 2 ATP, dan 4 CO₂

Transpor Elektron

Transpor elektron adalah proses konfersi energi ATP yang berasal dari NADH dan FADH₂ yang berasal dari reaksi sebelumnya sehingga merupakan tahap paling banyak menghasilkan ATP. Senyawa NADH dan FADH₂ mengandung elektron H⁺ yang akan ditransfer atau ditranspor keluar dari membran dalam mitokondria.

Selama proses transpor tersebut, elektron melewati serangkaian reaksi untuk membentuk ATP melalui mekanisme fosforilasi oksidatif. Fosforilasi oksidatif adalah proses menghasilkan ATP secara aerob di dalam krista mitokondria dengan menggunakan sistem transpor elektron. Pada tahapan akhir dari perjalanan elektron (H^+), maka elektron akan bereaksi dengan O_2 membentuk air.

Jumlah total NADH dari reaksi pertama hingga ketiga ada 10 buah sedangkan $FADH_2$ ada dua buah. Hasil dari transfer elektron yakni 36 ATP dan 6 H_2O



1 NADH = 3 ATP; 1 $FADH_2$ = 2 ATP

Konversi di atas tidak berupa angka bulat, namun pembulatan angka digunakan untuk kepentingan kemudahan penghitungan saja. Selain faktor yang telah disebutkan di atas, perbedaan angka konversi bisa disebabkan oleh gerak proton dan jalur ulang alik untuk membawa NADH matriks ke mitokondria.

Reaksi Anaerobik adalah reaksi pemecahan karbohidrat untuk mendapatkan energi tanpa menggunakan O_2 . Terjadi pada jaringan yang kekurangan O_2 , akar tumbuhan yang terendam air, biji tebal yang sulit ditembus O_2 , sel ragi dan bakteri anaerobik. Persamaan sederhananya:



Q. S. 'Abasa ayat 24

فَلْيَنْظُرِ الْإِنْسَانُ إِلَى طَعَامِهِ

Artinya: maka hendaklah manusia itu memperhatikan makanannya.

6

GEN DAN KROMOSOM

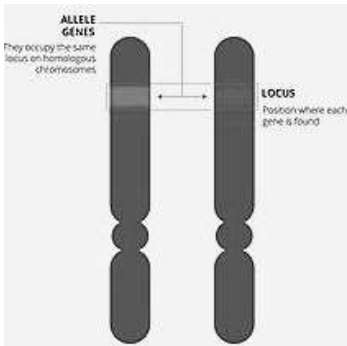
Kompetensi Dasar:

Memahami dan menerapkan konsep genetika

Cek handphone kalian, berapa data yang bisa tersimpan di dalamnya? Lihat laptop kalian, berapa memori yang bisa masuk di dalamnya? Tahukah kalian, bahwa DNA kita dapat menampung 5,5 pentabyte data??

Di SMA, kalian tentunya telah mempelajari dasar-dasar DNA, gen dan kromosom. Masih ingat? Baik, kita ulas lagi mengenai DNA, gen dan kromosom.

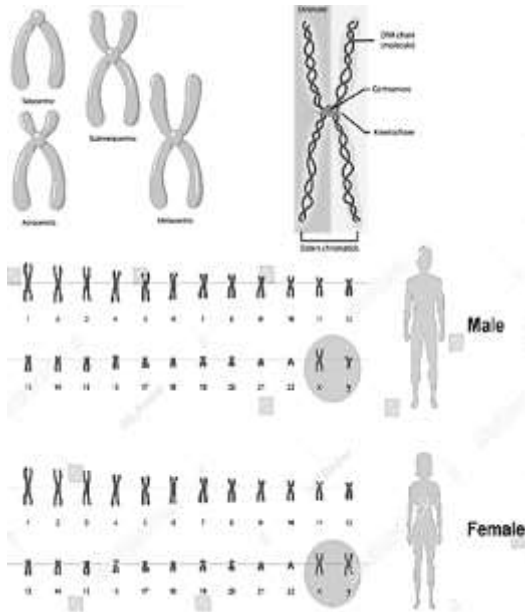
A. Gen dan Kromosom



Gambar 6.1 Locus dan Alel
Sumber: www.shutterstock.com

Gen dan kromosom berperan dalam penurunan sifat dari generasi ke generasi. Gen adalah unit molekul DNA dan RNA yang membawa urutan asam amino lengkap dari protein, atau menentukan struktur lengkap molekul rRNA (RNA ribosom) atau tRNA (RNA transfer). Gen terlibat dalam pengkodean protein dan pengiriman keturunan. Fungsi gen adalah untuk mengatur proses

perkembangan dan metabolisme dan untuk mentransfer informasi genetik dari satu generasi ke generasi berikutnya.



Gambar 6.2 Kromosom
 Sumber: www.shutterstock.com

Gen ada di dalam kromosom. Letak gen pada kromosom disebut lokus (kromomer). Gen yang menyandi bagian tubuh yang sama dan lokus yang sesuai disebut gen homolog. Lokus tertentu dapat berisi satu atau lebih gen. Seluruh kumpulan gen yang terdapat dalam setiap sel suatu organisme disebut genom. Gen dibagi menjadi dua

bagian, genotipe dan fenotipe. Genotipe adalah susunan informasi dalam tubuh organisme. Semua sifat dan sifat potensial suatu organisme dikodekan oleh genotipenya. Fenotipe adalah sifat yang terekspresi. Semua organisme memiliki jenis dan jumlah kromosom yang berbeda. Kromosom yang memiliki panjang, letak sentromer, dan pasangan warna yang sama disebut kromosom homolog. Kromosom dibagi menjadi kromosom autosomal (kromosom tubuh) dan kromosom seks (kromosom seks). Gonosom adalah kromosom yang menentukan jenis kelamin.

Kromatid adalah salah satu dari dua lengan hasil replikasi kromosom yang masih melekat pada sentromer. Istilah lainnya

kromonema (jamak : kromonemata). Kromonema merupakan filamen yang sangat tipis yang terlihat selama proses profase.

Kromomer adalah struktur berbentuk manik-manik yang merupakan akumulasi dari materi kromatin yang terkadang terlihat saat interfase.

Sentromer adalah daerah konstiksi atau peleukan di sekitar pertengahan kromosom. Pada sentromer terdapat kinetokor.

Kinetokor adalah bagian kromosom yang merupakan tempat pelekatan benang-benang spindel selama pembelahan inti dan merupakan tempat melekatnya lengan kromosom.

Satelit adalah bagian kromosom yang berbentuk bulatan dan terletak di ujung lengan kromatid. Satellit terbentuk karena adanya peleukan sekunder di daerah tersebut.

Telomer adalah daerah terujung pada kromosom yang berfungsi untuk menjaga stabilitas bagian ujung kromosom agar DNA di daerah tersebut tidak terurai.

Bentuk kromosom bermacam-macam sesuai letak sentromernya.

- *Telosentrik*: letak sentromer di ujung kromatid
- *Akrosentrik*: letak sentromer pada ujung dengan bagian tengah kromatid
- *Submetasentrik*: letak sentromer tidak berada ditengah-tengah lengan kromatid sehingga kromatid tidak terbagi sama panjangnya.
- *Metasentrik*: letak sentromer ditengah-tengah lengan kromatid sehingga sentromer membagi kromatid menjadi dua bagian.

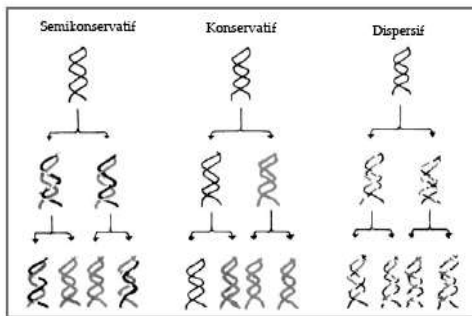
Karena kromosom selalu berpasangan letak gen pada kromosom homolog juga pada lokus yang sama. Sepasang gen yang berada pada lokus yang bersesuaian pada kromosom yang homolog disebut alel. Alel memiliki fungsi yang sama, saling mendukung dan disebut homozigot, contohnya sifat warna merah pada bunga. Contoh alel yang fungsinya tidak sama (berlawanan) adalah sifat warna merah muda pada bunga,

memiliki gen penentu warna merah dan pasangan gen penentu warna putih, sehingga sifat yang muncul adalah bunga warna merah muda. Fungsi yang berlawanan tersebut menyebabkan alel ini disebut alel heterozigot.

Diantara gen-gen yang sealel, ada gen yang mengalahkan gen alelnya dan ada yang pengaruhnya sama-sama kuat. Gen yang pengaruhnya lebih kuat disebut gen dominan, gen yang pengaruhnya lebih lemah disebut gen resesif, sedangkan gen yang pengaruhnya sama-sama kuat disebut gen semi dominan atau intermediet. Gen dominan ditulis dengan huruf besar sedangkan gen resesif ditulis dengan huruf kecil.

B. Replikasi

DNA memiliki fungsi autokatalisis, yaitu mampu melakukan mensintesis dirinya sendiri (replikasi). Replikasi DNA dapat terjadi dengan adanya sintesis rantai nukleotida baru dari rantai nukleotida lama. Prosesnya dengan menggunakan komplementasi pasangan basa untuk menghasilkan suatu molekul DNA baru yang sama dengan molekul DNA lama sehingga terbentuk dua buah DNA *double heliks*. Untuk melakukan replikasi DNA memerlukan beberapa komponen antara lain seutas DNA lama yang berfungsi sebagai cetakan, enzim DNA polimerase, serta empat macam nukleotida.



Sumber: Biologi, Kimball, 1994.

Menurut para ahli, ada tiga kemungkinan cara DNA bereplikasi,

- *Model konservatif*, yaitu dua rantai DNA lama tetap tidak berubah, berfungsi sebagai cetakan untuk dua rantai DNA baru.

Replikasi ini mempertahankan molekul dari DNA lama dan membuat molekul DNA baru.

- *Model semikonservatif*, yaitu dua rantai DNA lama terpisah dan rantai baru disintesis dengan prinsip komplementasi pada masing-masing rantai DNA lama. Akhirnya dihasilkan dua rantai DNA baru yang masing-masing mengandung satu rantai cetakan molekul DNA lama dan satu rantai baru hasil sintesis.
- *Model dispersif*, yaitu beberapa bagian dari kedua rantai DNA lama digunakan sebagai cetakan untuk sintesis rantai DNA baru. Oleh karena itu, hasil akhirnya diperoleh rantai DNA lama dan baru yang tersebar pada rantai DNA lama dan baru. Replikasi ini menghasilkan dua molekul DNA lama dan DNA baru yang saling berselang-seling pada setiap untai.

Setelah berhasil membuat model struktur DNA, Watson dan Crick memprediksi bahwa DNA bereplikasi dengan cara semikonservatif. Proses replikasi DNA adalah sebagai berikut:

- *Pengenalan Origin of Replication (ORI)*
Titik awal dimulainya replikasi disebut Origins of Replication (titik ORI). Protein Origin Recognition Complex (ORC) berperan sebagai protein inisiator yang akan mengenali sekuens ORI dan menginisiasi penempelan helicase. ORC ini akan selalu menempel pada saat proses replikasi berlangsung.
- *Inisiasi Replication Fork*
Helicase yang menempel pada ORI berfungsi membuka pilinan DNA double strand menjadi dua single strand DNA terpisah sehingga membentuk struktur Replication Fork. Single Strand Binding Protein (SSBP) akan menempel pada single strand DNA yang baru terbentuk agar stabil sehingga tidak bergabung kembali (renaturasi). Pembukaan pilinan oleh helicase dimulai dari ORI menuju ke dua arah,

membentuk 2 Replication Fork yang tampak sebagai Replication Bubble.

- *Replikasi pada Leading Strand*

Replikasi pada Leading strand diawali dengan aktivitas primase (DNA primase) yang mensintesis RNA primer. Setelah adanya RNA primer, sintesis DNA dapat dimulai oleh DNA polimerase secara kontinyu dari arah 5' ke 3' searah dengan pembukaan replication fork.

- *Replikasi pada Lagging Strand*

Sintesis DNA harus terjadi pada arah 5' ke 3' maka arah replikasi berlawanan arah dengan pembukaan Replication Fork atau antiparalel dengan arah Leading strand. Replikasi pada lagging strand terjadi secara tidak kontinyu. Sintesis DNA diawali dengan pembentukan RNA primer kemudian dilanjutkan sintesis DNA oleh DNA polimerase, demikian berulang-ulang setelah helicase membuka untai double helix DNA. Oleh karena itu, pada lagging strand dijumpai fragmen-fragmen DNA yang disebut fragmen Okazaki. DNA polimerase akan mengganti RNA primer dengan sekuens DNA dan meninggalkan celah antar fragmen (gap). Fragmen-fragmen tersebut akhirnya disatukan oleh Ligase sehingga membentuk untai DNA baru yang utuh dan komplementer dengan template DNA induk.

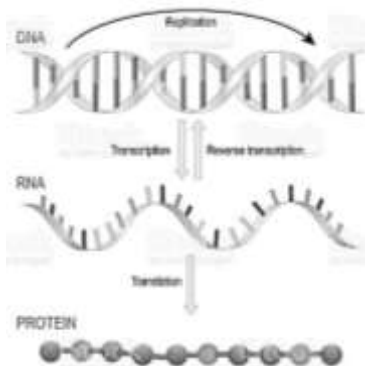
C. Sintesis Protein

Protein merupakan salah satu senyawa dasar penyusun suatu organisme yang memiliki peran struktural dan fungsional. Sintesis protein adalah suatu metabolisme penyusunan protein yang terjadi pada semua makhluk hidup. Proses ini berlangsung sepanjang masa dalam siklus hidup suatu organisme. Tubuh organisme akan senantiasa mensintesis protein sesuai dengan kebutuhan tubuh. Ada dua tahap sintesis protein, yaitu proses transkripsi dan translasi.

Transkripsi

Tahap transkripsi terjadi di nukleus, menggunakan DNA sebagai cetakan untuk membuat mRNA. mRNA kemudian meninggalkan inti menuju ribosom dalam sitoplasma.

- Inisiasi terjadi ketika enzim polimerase RNA mengikat ke promotor, membuka ikatan *double helix* DNA sehingga enzim dapat "membaca" basa di salah satu untai DNA. Kemudian DNA polimerase menyusun untai nukleotida-nukleotida RNA dengan arah 5' ke 3'.
- Pada tahap elongasi ini, RNA mengalami pertumbuhan memanjang seiring dengan pembentukan pasangan basa nitrogen DNA. Pada RNA tidak terdapat basa pirimidin timin (T), melainkan urasil (U). RNA membentuk pasangan basa urasil dengan adenin pada rantai DNA. Tiga macam basa yang lain, yaitu adenin, guanin, dan sitosin dari DNA akan berpasangan dengan basa komplemennya. Adenin berpasangan dengan urasil dan guanin dengan sitosin.
- Terminasi adalah akhir dari transkripsi, dan terjadi ketika RNA polimerase melintasi urutan gen stop (terminasi). Untai mRNA selesai, dan melepaskan dari DNA.



Gambar 6.4 Sintesis Protein
Sumber: www.shutterstock.com

Translasi

Proses translasi merupakan proses penerjemahan urutan nukleotida pada mRNA sehingga menjadi rangkaian asam amino penyusun polipeptida yang berlangsung di ribosom. Setiap 3 urutan nukleotida pada mRNA disebut kodon. Kodon pada mRNA berpasangan dengan antikodon tRNA.

Translasi, sebagaimana proses transkripsi, juga terdiri atas tiga tahap.

- **Inisiasi.** Ribosom memiliki 3 ruang, yaitu E, P dan A. Tahap inisiasi diawali dengan menempelnya mRNA pada ribosom subunit kecil bagian P, tepat pada kodon start. Kemudian tRNA yang memiliki antikodon AUC berpasangan dengan kodon AUG pada mRNA. Setelah itu, datang ribosom subunit besar yang menempel dengan subunit kecil dan menghasilkan kompleks ribosom aktif.
- **Elongasi.** Ribosom akan terus bergerak dan membaca kodon-kodon di sepanjang mRNA. Di dalam ribosom, metionin pertama kali terbentuk berikatan dengan asam amino selanjutnya membentuk dipeptida, tripeptida, dan seterusnya.
- **Terminasi**
Elongasi berlanjut hingga ribosom mencapai kodon stop, yaitu UAA, UAG, dan UGA. Kodon stop tidak mengkode suatu asam amino melainkan bertindak sebagai sinyal untuk menghentikan translasi. Polipeptida yang dibentuk kemudian “diproses” menjadi protein.



Q. S. Al Qiyamah ayat 3-4

أَحْسَبُ الْإِنْسَانَ أَلَّنْ نَجْمَعُ عِظَامَهُ، ﴿٢﴾ بَلَىٰ قَدِيرِينَ عَلَىٰ أَنْ تُسْوَىٰ بِنَاءِهِ، ﴿١﴾

Artinya: Apakah manusia mengira, bahwa Kami tidak akan mengumpulkan (kembali) tulang belulanginya? Bukan demikian, sebenarnya Kami kuasa menyusun (kembali) jari jemarinya dengan sempurna.

7

HUKUM MENDEL DAN PENYIMPANGAN SEMU HUKUM MENDEL

Kompetensi Dasar:

Memahami dan menerapkan konsep genetika



Perhatikan gambar disamping! Apa yang kalian lihat? Pasti jawaban kalian adalah ayam. Tapi apakah kalian memperhatikan bahwa ayam-ayam disamping memiliki bentuk, ciri khas dan warna yang berbeda? Mengapa demikian??

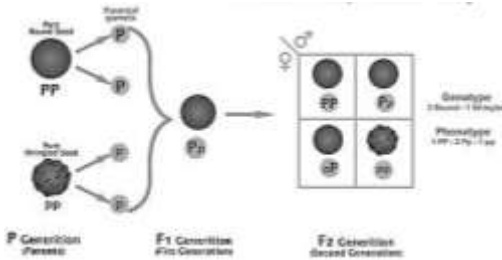
A. Hukum Mendel

Gregor Mendel (1822-1884) adalah pendeta dan petani yang mempunyai tanaman kacang kapri yang beraneka ragam, ada yang mempunyai bunga merah dan putih, ada yang tanamannya tinggi dan rendah, duduk bunga, warna dan bentuk polong berbeda. Setelah beberapa kali percobaan, akhirnya diperoleh tanaman kacang kapri *galur murni*.

Kedua tanaman kacang kapri galur murni digunakan sebagai *induk*, atau *Parental* (P). Penyerbukan silang antara kedua galur murni dengan satu sifat beda (bentuk biji bulat dan kisut) dikenal dengan istilah *monohybrid*. Tanaman kacang kapri hasil penyilangan ini disebut turunan ke-1, atau sebagai Filial ke-1 (disingkat F_1). Pada F_1 diketahui bahwa semua biji berbentuk bulat. Biji bulat disebut *sifat dominan*, artinya sifat bulat akan ”mengalahkan” sifat kisut. Sifat kisut disebut

sebagai *sifat resesif*. Biji bulat atau kisut, atau sifat merah atau putih dari warna bunga, selanjutnya disebut *gen*.

Jika antar F_1 tersebut disilangkan kembali, akan diperoleh Filial ke-2 atau F_2 dan menunjukkan hasil berupa tanaman kacang kapri yang berbiji bulat dan kisut dengan



Gambar 7.1 Persilangan Monohybrid
Sumber: www.shutterstock.com

perbandingan 3:1. Dalam genetika, sifat dominan disimbolkan dengan huruf kapital, sedangkan sifat resesif disimbolkan dengan huruf kecil.

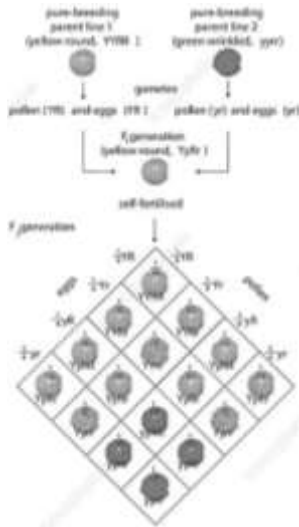
Berdasarkan aturan tersebut, maka

tanaman berbunga merah galur murni mempunyai genotip **MM**, dan yang berbunga putih galur murni mempunyai genotip **mm**. Gen-gen tadi juga berpasangan atau memiliki alel. Oleh karena itu, gen pada tanaman kacang kapri selalu ditulis dengan simbol huruf secara lengkap, misalnya **MM**, **Mm**, dan **mm**. Pada bab sebelumnya sudah dibahas mengenai fenotipe dan genotipe, bukan? Sekarang ingat-ingat lagi, apa perbedaan keduanya.

Kesimpulan:

1. Gen dominan (**M**) akan menutupi gen resesif (**m**)
2. F_1 dengan genotip **Mm** akan menghasilkan dua macam gamet yang bergenotip **M** dan **m** dalam jumlah yang sama. Hal ini terjadi karena pada waktu pembentukan gamet, pasangan gen **Mm** mengalami pemisahan (*segregasi*) sehingga masing-masing gamet yang terbentuk mendapat satu gen saja, **M** atau **m**. Peristiwa pemisahan ini disebut sebagai prinsip *segregasi* atau **Hukum Mendel I**.
3. Penyilangan antar sesama tanaman F_1 menghasilkan turunan F_2 yang memiliki perbandingan 3:1.

Pada penyilangan, selain sifat dominan dan resesif dikenal pula sifat intermediet, yaitu sifat antara. Contohnya, ketika penyilangan bunga warna merah dengan putih (P) dihasilkan F₁ berwarna merah muda. Jika F₁ disilangkan dengan sesamanya, maka terjadi turunan F₂ dengan perbandingan 1:2:1 (merah:merah muda:putih).



Gambar 7.2 Persilangan Dihilbrid
Sumber: www.sciencephoto.com

Mendel juga melakukan percobaan penyilangan dua sifat beda (dihilbrid) dengan menyilangkan tanaman kacang kapri berbiji bulat-kuning dengan tanaman kacang kapri berbiji hijau-kisut. F₁ yang dihasilkan kemudian disilangkan dengan sesamanya sehingga memperoleh F₂ dengan gamet BK, Bk, bK dan bk perbandingan 9:3:3:1 atau 9/16 : 3/16 : 3/16 : 1/16. Turunan F₂ menghasilkan fenotip baru yang berbeda dengan induknya, yaitu *bulat-hijau* dan *kisut-kuning*, yang disebut dengan sifat rekombinasi.

Kesimpulan:

1. Pada pembastaran dihibrid, setiap pasang gen dari turunan F₁ akan memisah dan mengelompok secara bebas menuju gamet pada waktu pembentukan gamet. Karena ada peristiwa pemisahan dan pengelompokan secara bebas maka turunan F₂ memiliki 4 macam gamet, yaitu BK, Bk, bK dan bk, yang masing-masing mempunyai perbandingan 9:3 :3:1. Selanjutnya pemisahan secara bebas ini disebut Mendel sebagai **prinsip pemisahan gen secara bebas** atau disebut sebagai **Hukum Mendel II**.

2. Turunan F_1 menghasilkan 4 macam gamet, maka turunan F_2 menghasilkan 16 kemungkinan macam genotip atau kombinasi, dengan perbandingan fenotip = 9 : 3 : 3 : 1, yaitu 9 bulat-kuning, 3 bulat-hijau, 3 kisut-kuning dan 1 kisut-hijau. Dari 4 macam fenotip yang dihasilkan, muncul 2 fenotip baru, yaitu *bulat-hijau* dan *kisut-kuning*, yang berbeda dari fenotip induk (P) dan juga dari fenotip turunan F_1 .

B. Penyimpangan Semu Hukum Mendel

Penyimpangan semu hukum Mendel merupakan bentuk persilangan yang menghasilkan rasio fenotif yang berbeda dengan dasar dihibrid menurut hukum Mendel. Meskipun tampak berbeda sebenarnya rasio fenotif yang diperoleh merupakan modifikasi dari penjumlahan rasio fenotif hukum Mendel semula. Macam penyimpangan Hukum Mendel adalah sebagai berikut.

1. Polimeri. Hasil persilangan yang menghasilkan banyak gen bukan alel tetapi mempengaruhi sifat yang sama. Polimeri memiliki ciri-ciri makin banyak gen dominan, maka sifat karakternya makin kuat.

Contoh: persilangan antara gandum berkulit merah dengan gandum berkulit putih

P	:	gandum berkulit merah	x	gandum berkulit putih
		$M1M1M2M2$		$m1m1m2m2$
F1	:	$M1m1M2m2$ (merah muda)		
P2	:	$M1m1M2m2$	x	$M1m1M2m2$
F2	:	9 $M1 - M2$ (merah – merah tua sekali) 3 $M1 - m2m2$ (merah muda – merah tua) 3 $m1m1M2$ (merah muda – merah tua) 1 $m1m1m2m2$ (putih)		

Berdasarkan contoh di atas, gen $M1$ dan $M2$ bukan alel, tetapi sama-sama berpengaruh terhadap warna merah gandum. Semakin banyak gen dominan, maka semakin merah warna gandum.

Keterangan:

4M = merah tua sekali M = merah muda
3M = merah tua m = putih
2M = merah

Bila yang berwarna merah dengan yang berwarna putih dibuat sama-rata, diperoleh rasio fenotif F₂ merah : putih = 15 : 1.

2. Kriptomeri. Apabila suatu faktor tidak tampak pengaruhnya jika berdiri sendiri, tetapi baru tampak pengaruhnya bila ada faktor lain yang menyertainya. Ciri khasnya ada karakter baru muncul bila ada 2 gen dominan bukan alel berada bersama. Contoh: persilangan *Linaria maroccana*

A	: ada anthosianin	B	: protoplasma basa
a	: tak ada anthosianin	b	: protoplasma tidak basa
P	: merah	x	putih
	AAbb		aaBB
F1	: AaBb (ungu - muncul karena A dan B berada bersama)		
P2	: AaBb	x	AaBb
F2	: 9 A-B- (ungu)		3 aaB- (putih)
	3 A-bb (merah)		1 aabb (putih)

Rasio fenotif F₂ ungu : merah : putih = 9 : 3 : 4

3. Epistasis-hipostasis. Peristiwa gen dominan menutupi pengaruh gen dominan lain yang bukan alelnya. Gen yang menutupi disebut epistasis, dan yang ditutupi disebut hipostasis. Contoh: persilangan antara jagung berkulit hitam dengan jagung berkulit kuning.

P	: hitam	x	kuning
	HHkk		hhKK
F1	:		HhKh (hitam)

H dan K berada bersama dan keduanya dominan. Tetapi karakter yang muncul adalah hitam. Ini berarti hitam epistasis (menutupi) terhadap kuning/kuning hipostasis (ditutupi) terhadap hitam

P2 : HhKk x HhKk
 F2 : 9 H-K- (hitam) 3 hhK- (kuning)
 3 H-kk (hitam) 1 hhkk : putih
 Rasio fenotif F2 hitam : kuning : putih = 12 : 3 : 1

4. Komplementer. Bentuk kerjasama dua gen dominan yang saling melengkapi untuk memunculkan suatu karakter. Contoh: perkawinan antara dua orang yang sama-sama bisu tuli

P : bisu tuli x bisu tuli
 DDee ddEE
 F1 : DdEe (normal)

D dan E berada bersama bekerjasama memunculkan karakter normal. Bila hanya memiliki salah satu gen dominan D atau E saja, karakter yang muncul adalah bisu tuli.

P2 : DdEe x DdEe
 F2 : 9 D-E- (normal) 3 ppE- (bisu tuli)
 3 D-uu (bisu tuli) 1 ppuu (bisu tuli)
 Rasio fenotif F2 normal : bisu tuli = 9 : 7

5. Interaksi alel. Peristiwa muncul suatu karakter akibat interaksi antar gen dominan maupun antar gen resesif. Contoh: mengenai pial/jengger pada ayam

P : Ros x Pea
 R-pp rrP-
 F1 : RrPp Walnut
 P2 : RrPp x RrPp
 F2 : 9 R-P- (walnut) 3 rrP- (pea)
 3 R-pp (ros) 1 rppp (single)

Pada contoh di atas ada 2 karakter baru muncul:

- Walnut : muncul karena interaksi 2 gen dominan
- Singel : muncul karena interaksi 2 gen resesif

Rasio fenotif F2 Walnut : Ros : Pea : Single = 9 : 3 : 3 : 1



Q. S. Al Furqon ayat 54

وَهُوَ الَّذِي خَلَقَ مِنَ الْمَاءِ بَشَرًا فَجَعَلَهُ نَسَبًا وَصِهْرًا وَكَانَ رَبُّكَ قَدِيرًا

Artinya: Dan Dia (pula) yang menciptakan manusia dari air lalu dia jadikan manusia itu (punya) keturunan dan mushaharah dan adalah Tuhanmu Maha Kuasa.



EKOLOGI

Kompetensi Dasar:

Memahami dan menerapkan konsep ekologi

Kata ekologi berasal dari *Oikos* yang berarti rumah atau tempat tinggal dan *Logos* yang berarti telaah atau studi. Jadi, ekologi adalah ilmu tentang tempat tinggal organisme atau rumah tangga makhluk hidup. Ekologi juga dapat diartikan sebagai ilmu yang mempelajari hubungan timbal balik antara organisme dengan sesamanya dan dengan lingkungannya. Struktur ekosistem menunjukkan suatu keadaan dari sistem ekologi pada waktu dan tempat tertentu termasuk keadaan densitas organisme, biomassa, penyebaran materi (unsur hara), energi, serta faktor-faktor fisik dan kimia lainnya yang menciptakan keadaan sistem tersebut.

Istilah ekologi pertama kali ditemukan oleh Ernest Haeckel seorang ahli biologi Jerman pada tahun 1869. Dalam pengertian proses alamiah, ekologi telah diketahui dan diaplikasikan sejak dahulu dan terus berkembang sejalan dengan perkembangan akal dan budaya manusia. Sebagai ilmu, ekologi telah berkembang pesat sejak tahun 1990. Berdasarkan perkembangannya, sekarang dikenal ilmu lingkungan hidup (*environmental science*) dan Biologi Lingkungan (*environmental biology*). Ekologi merupakan dasar pokok ilmu lingkungan, hanya saja cakupan ilmu lingkungan lebih luas daripada ekologi.

Ilmu lingkungan dan ekologi mempunyai hubungan yang sangat erat dan tak terpisahkan satu sama lain. Lingkungan merupakan komponen penting dalam sistem

ekologi (ekosistem), yang meliputi komponen biotik dan abiotik.

1. Komponen Biotik

Komponen biotik terdiri dari semua jenis organisme atau makhluk hidup yang ada dalam sebuah ekosistem. Ketergantungan antara komponen biotik dapat dilihat melalui rantai makanan dan jaring-jaring makanan.

Rantai makanan adalah perpindahan materi dan energi melalui

proses makan dan dimakan dengan



Gambar 8.1 Rantai Makanan

urutan tertentu. Tiap tingkat dari rantai makanan disebut tingkat tropik. Tingkat tropik pertama diduduki oleh organisme autotrof dan disebut produsen yaitu tumbuhan hijau. Pada tropik kedua yaitu hewan herbivora atau hewan pemakan tumbuhan yang disebut juga sebagai konsumen primer. Tingkat tropik ketiga yaitu hewan yang memakan konsumen primer yaitu hewan karnivora atau hewan pemakan daging. Jaring-jaring makanan sebenarnya merupakan rangkaian rantai makanan yang saling berhubungan.

Berdasarkan peranannya, komponen biotik dibagi menjadi produsen, konsumen dan dekomposer.

a. Produsen atau Organisme Autotrof

Organisme autotrof atau disebut sebagai produsen merupakan organisme yang mampu menghasilkan makanannya sendiri. Produsen membuat makanan dengan menyerap senyawa dan zat-zat anorganik untuk kemudian diubah menjadi senyawa organik melalui proses fotosintesis. Organisme autotrof memiliki klorofil, contohnya yaitu tumbuhan, Cyanobacteria dan alga.

b. Konsumen atau Organisme Heterotrof

Organisme heterotrof atau disebut sebagai konsumen merupakan organisme yang mengambil sumber energi dan makanan dari organisme lain. Organisme heterotrof disebut juga konsumen makro (fagotrof) karena makanan yang dimakan berukuran lebih kecil. Contoh komponen biotik ini misalnya manusia dan hewan yang berperan baik sebagai karnivora, herbivora, maupun omnivora. Herbivora adalah organisme pemakan tumbuhan. Karnivora adalah organisme pemakan hewan (daging). Sedangkan omnivora adalah organisme pemakan segala jenis makanan, baik tumbuhan maupun hewan. Konsumen dapat dibedakan menjadi tiga yaitu:

- Konsumen primer merupakan herbivora yang memakan produsen seperti tumbuhan alga, bakteri.
- Konsumen sekunder merupakan karnivora yang memakan konsumen primer.
- Konsumen tersier merupakan konsumen puncak.

c. Pengurai atau Dekomposer

Pengurai atau dekomposer merupakan organisme yang melakukan proses dekomposisi yaitu mengubah bahan-bahan organik dari organisme yang sudah mati menjadi senyawa anorganik. Contoh organisme yang disebut pengurai adalah ganggang, jamur, cacing, bakteri, dan lain-lain. Beberapa pengurai yang menggunakan sisa bahan organik hasil dekomposisi disebut juga detritivor. Contoh organisme ini misalnya kutu kayu. Tipe dekomposisi ada tiga, yaitu:

- Aerobik yaitu oksigen adalah penerima elektron atau oksidan
- Anaerobik yaitu tidak memerlukan oksigen. Bahan organik sebagai penerima elektron atau oksidan
- Fermentasi sebenarnya adalah anaerobik yang berbahan organik teroksidasi serta sebagai penerima elektron.

2. Komponen Abiotik

Komponen Abiotik merupakan komponen lingkungan yang terdiri dari unsur-unsur tidak hidup baik secara fisik atau kimia yang ada didalam sebuah ekosistem. Sumber abiotik biasanya diperoleh dari litosfer, atmosfer, dan hidrosfer. Komponen abiotik memiliki peranan penting untuk komponen biotik. Berikut adalah komponen abiotik:

- a. Suhu. Suhu adalah komponen abiotik yang dipengaruhi banyak faktor seperti radiasi sinar matahari, garis lintang dan ketinggian tempat.
- b. Air. Ketersediaan air mempengaruhi penyebaran makhluk hidup. Volume air di bumi mencapai jumlah 1,4 milyar km³ berasal dari air laut sebesar 97%, air tawar sebesar 0,75% dan gunung es sebesar 2%. Komposisi tubuh manusia pun 90% adalah cairan.
- c. Garam. Beberapa organisme terestrial atau organisme yang hidup dan berkeliaran di atas tanah mampu beradaptasi dengan lingkungan dengan kandungan garam tinggi.
- d. Cahaya Matahari. Cahaya matahari adalah sumber energi utama makhluk hidup baik dari intensitas dan kualitasnya terhadap suatu ekosistem. Intensitas cahaya matahari yang tinggi di gurun mempengaruhi adaptasi secara morfologi, fisiologi dan tingkah laku organisme. Intensitas dan kualitas cahaya matahari juga mempengaruhi proses fotosintesis.
- e. Tanah dan batuan. Tanah merupakan komponen abiotik yang menjadikan suatu daerah memiliki berbagai jenis organisme yang berbeda. Tanah menjadi tempat hidup dan bertumbuh bagi organisme autotrof dan tempat mencari makanan bagi organisme heterotrof. Tanah terbentuk dari proses pelapukan batuan yang berlangsung dalam waktu yang sangat lama, terdiri dari empat

komponen utama yaitu bahan mineral, air, udara, dan bahan organik.

- f. Iklim. Iklim adalah kondisi atau keadaan cuaca dalam jangka waktu yang lama pada suatu area yang luas. Iklim terbentuk dari interaksi berbagai komponen abiotik, berupa suhu, cahaya matahari, kelembaban udara dan lain-lain. Iklim makro meliputi iklim global, regional dan lokal dan iklim mikro yang meliputi iklim dalam suatu daerah yang dihuni komunitas tertentu.
- g. Topografi. Topografi merupakan letak suatu tempat dipandang dari ketinggian di atas permukaan air laut (altitude) atau dipandang dari garis bujur dan garis lintang (latitude). Topografi yang berbeda menyebabkan perbedaan penerimaan intensitas cahaya, kelembapan, tekanan udara dan suhu udara.

B. Siklus Biogeokimia

Siklus biogeokimia yaitu perputaran materi atau senyawa kimia yang mengalir di alam, dari komponen abiotik ke komponen biotik dan kembali lagi ke komponen abiotik. Siklus tersebut tidak hanya melalui makhluk hidup, tetapi juga melibatkan reaksi kimia dalam lingkungan abiotik. Fungsi siklus biogeokimia adalah mengembalikan semua unsur kimia yang sudah terpakai oleh semua yang ada di bumi baik komponen biotik maupun komponen abiotik, sehingga menciptakan keseimbangan unsur di dalam ekosistem.

1. Siklus Karbon-Oksigen

Kandungan CO₂ di atmosfer 0,03% yang bersumber dari respirasi manusia dan hewan, erupsi vulkanik, pembakaran batubara, dan asap pabrik. Karbon dioksida (CO₂) di udara dimanfaatkan oleh tumbuhan untuk melakukan fotosintesis dan menghasilkan oksigen yang dimanfaatkan oleh manusia dan hewan untuk respirasi. Di ekosistem akuatik, pertukaran CO₂

dengan atmosfer terjadi secara tidak langsung. Karbon dioksida berikatan dengan air membentuk asam karbonat yang akan terurai menjadi ion bikarbonat. Bikarbonat berfungsi sebagai sumber karbon bagi alga yang memproduksi makanan untuk diri mereka sendiri dan organisme heterotrof lain. Sebaliknya, saat organisme air melakukan respirasi, CO₂ yang mereka keluarkan menjadi bikarbonat. Jumlah bikarbonat dalam air seimbang dengan jumlah CO₂ di air.

2. Siklus Nitrogen

Siklus nitrogen merupakan konversi senyawa yang mengandung unsur nitrogen menjadi berbagai macam bentuk kimiawi yang lain. Transformasi ini dapat terjadi secara biologis maupun non-biologis. Proses siklus nitrogen terjadi dalam 6 tahap.

- a. Fiksasi, yaitu mengubah nitrogen di udara menjadi ammonia (NH₃). Proses ini dibantu oleh mikroorganisme yang dapat mengikat nitrogen disebut *diazotrof*. Mikroorganisme ini memiliki *enzim nitrogenaze* yang dapat menggabungkan hidrogen dan nitrogen. Reaksi untuk fiksasi nitrogen: $N_2 + 8 H^+ + 8 e^- \rightarrow 2 NH_3 + H_2$
- b. Asimilasi. Merupakan proses penyerapan nitrogen dari tanah oleh akar tanaman dalam bentuk ion nitrat atau ion amonium. Hewan mendapatkan nitrogen dari tanaman yang mereka makan.
- c. Amonifikasi. Nitrogen organik yang terkandung dalam tumbuhan dan hewan yang mati dirubah menjadi amonium (NH₄⁺) oleh bakteri dan fungi.
- d. Nitrifikasi. Perubahan amonium menjadi nitrat oleh bakteri yang hidup di dalam tanah dan bakteri nitrifikasi lainnya. Bakteri nitrifikasi (spesies *Nitrosomonas* sp.) mengoksidasi amonium (NH₄⁺) dan mengubah amonia menjadi nitrit (NO₂⁻). Spesies bakteri lain, seperti *Nitrobacter*, dapat mengoksidasi nitrit menjadi nitrat

- (NO₃⁻). Proses konversi nitrit menjadi nitrat sangat penting karena nitrit merupakan racun bagi tumbuhan.
- e. Denitrifikasi. Merupakan proses reduksi nitrat untuk kembali menjadi gas nitrogen (N₂), untuk menyelesaikan siklus nitrogen. Proses ini dilakukan oleh spesies bakteri seperti *Pseudomonas* dan *Clostridium* dalam kondisi anaerobik. Reaksi denitrifikasi sebagai berikut:
$$\text{NO}_3^- \rightarrow \text{NO}_2^- \rightarrow \text{NO} + \text{N}_2\text{O} \rightarrow \text{N}_2 \text{ (g)}$$
 - f. Oksidasi Amonia Anaerobik. Nitrit dan amonium dikonversi langsung ke elemen (N₂) gas nitrogen melalui reaksi $\text{NH}_4^+ + \text{NO}_2^- \rightarrow \text{N}_2 + 2 \text{H}_2\text{O}$

3. Siklus Hidrologi

Siklus air adalah pergerakan air di bumi untuk mempertahankan jumlah atau ketersediaan air. Selain itu, hidrologi juga berkaitan dengan kualitas air seperti baik tidaknya untuk dikonsumsi dan juga mempelajari distribusi air di bumi.

- a. Evaporasi. Air yang berada di permukaan bumi menguap menjadi uap air karena panasnya sinar matahari
- b. Transpirasi. Penguapan yang terjadi pada bagian tubuh makhluk hidup khususnya tumbuhan dan hewan. Molekul cairan pada tubuh tumbuhan dan hewan berubah menjadi uap atau molekul gas ke atmosfer. Transpirasi khususnya terjadi pada jaringan yang ada di tumbuhan dan hewan, namun hasilnya kurang dari hasil evaporasi.
- c. Evapotranspirasi. Proses gabungan dari evaporasi dan transpirasi sehingga pada tahap ini air yang menguap banyak. Tahap ini paling memengaruhi siklus hidrologi atau jumlah air yang terangkut.
- d. Sublimasi. Proses penguapan dari es yang ada di kutub dan di gunung yang tidak melewati proses mencair.
- e. Kondensasi. Merupakan tahap perubahan uap air partikel kecil es yang terjadi karena suhu dingin pada ketinggian

- atmosfer. Partikel es tersebut ditampung menjadi awan. Semakin banyak partikel es, awan semakin berwarna hitam.
- f. Adveksi. Perpindahan awan dari satu titik ke titik lainnya karena adanya angin.
 - g. Presipitasi. Tahap mencairnya awan akibat suhu yang semakin meningkat yang disebut juga dengan proses hujan. Bila suhu yang ada di sekitar kurang dari 0°C kemungkinan akan terjadi hujan salju atau bahkan es.
 - h. *Run off*. Tahap pergerakan air yang jatuh melalui hujan dari permukaan yang lebih tinggi ke permukaan bumi yang lebih rendah melalui berbagai saluran, seperti got, sungai dan danau atau laut bahkan samudera.
 - i. Infiltrasi. Air hujan yang turun ke bumi tidak seluruhnya akan mengalir, tetapi juga merembes ke pori tanah lalu seluruhnya akan kembali ke laut.

4. Siklus Sulfur

Siklus sulfur adalah konversi hidrogen sulfida menjadi sulfur dioksida kemudian menjadi sulfat dan akhirnya kembali menjadi hidrogen sulfida lagi. Sulfur dapat ditemukan di alam dalam berbagai bentuk. Dalam tanah, sulfur bisa ditemukan dalam bentuk mineral, di udara berada dalam bentuk gas sulfur dioksida dan di dalam tubuh organisme terdiri sebagai penyusun protein.

Siklus sulfur ini di mulai dari dalam tanah ketika ion – ion sulfat di serap oleh akar dijadikan sebagai penyusun protein di dalam tubuh tumbuhan. Saat hewan dan manusia memakan tumbuhan, ion tersebut pindah ke tubuh manusia. Dari dalam tubuh manusia senyawa sulfur akan mengalami metabolisme. Sisa-sisa hasil metabolisme tersebut diuraikan oleh bakteri dalam sistem pencernaan berupa gas. H₂S hasil dari penguraian hewan dan tumbuhan, sebagian akan tetap berada dalam tanah dan sebagiannya lagi akan di lepaskan

ke udara berupa gas H_2S . Gas H_2S yang ada di udara bersenyawa dengan oksigen untuk membentuk sulfur dioksida. Sedangkan H_2S yang tertinggal didalam tanah diubah menjadi ion sulfat serta senyawa sulfur oksida dengan bantuan bakteri.

5. Siklus Fosfor

Fosfor adalah nutrisi mineral penting untuk semua tanaman dan hewan. Fosfor ditemukan dalam air, tanah dan sedimen, tidak dapat ditemukan di udara dalam bentuk gas seperti senyawa lain dari siklus materi.

Fosfor memasuki tanah dan air melalui pelapukan batuan. Tanaman mengambil ion fosfor ini dari tanah. Fosfat kemudian dipindahkan dari tanaman ke hewan herbivora. Herbivora hewan kemudian dimakan oleh karnivora. Fosfat yang diserap oleh hewan dikembalikan ke tanah melalui ekskresi dan dari dekomposisi tumbuhan dan bahan mati oleh mikroba. Bahan tanaman mati dan produk-produk limbah lainnya membusuk melalui aksi bakteri. Fosfat dilepaskan ke lingkungan dengan proses ini. Fosfat dalam tanah yang tercuci atau terkikis ke dalam air. Air tersebut digunakan oleh ganggang dan tanaman sebagai nutrisi.



Q. S. Al Infitar ayat 7

الَّذِي خَلَقَكَ فَسَوَّاكَ فَعَدَلَكَ

Artinya: Yang telah menciptakan kamu lalu menyempurnakan kejadianmu dan menjadikan (susunan tubuh)mu seimbang.

9

TINGKAH LAKU HEWAN

Kompetensi Dasar:

Memahami dan menerapkan konsep tingkah laku hewan

Perilaku hewan terjadi sebagai bentuk respon dari stimulus, baik dari dalam maupun dari luar. Stimulus-respon melibatkan adanya berbagai sistem organ, yaitu sistem koordinasi (sistem syaraf dan endokrin), yang bertindak sebagai aseptor dan pengolah informasi kemudian ditanggapi oleh afektor (sistem gerak). Stimulus dari dalam tubuh hewan disebabkan oleh metabolisme hewan tersebut. Salah satu contohnya adalah hewan akan minum ketika haus dan makan ketika lapar. Seringkali perilaku hewan tampak sebagai bentuk gabungan stimulus luar-dalam tubuh. Kajian mengenai fungsi-fungsi perilaku juga erat kaitannya dengan masalah aspek ekologis dan sosiologis

Perilaku pada hewan terbagi menjadi dua, yaitu sebagai berikut.

A. Perilaku Bawaan

Perilaku ini permanen, diturunkan secara genetik, tidak bisa diubah oleh perubahan lingkungan, dan diperoleh tanpa pengalaman khusus sebelumnya. Perilaku bawaan dibagi menjadi 3, yaitu:

1. Innate. Perilaku yang sudah ada pada individu sebagai bawaan lahir dan berkembang secara tetap/pasti. Perilaku ini tidak membutuhkan proses belajar, sering kali terjadi pada fase kritis (baru lahir) dan bersifat genetik (dapat diturunkan). Dalam perilaku ini dikenal adanya istilah naluri/insting terutama berupa insting dasar yang

menjadikan hewan dapat melakukan sesuatu atau bertindak dalam kondisi tertentu. Contoh: anak yang baru lahir dapat menemukan sendiri kelenjar susu induknya untuk dapat memperoleh makanan. Planaria menghindari dari cahaya.

2. Pola Aksi Tetap (Fixed Action Patterns/ FAPs). Merupakan perilaku berulang yang diakibatkan oleh stimulus khusus. Contoh: ketika seekor anak burung baru menetas, ia akan dengan spontan membuka mulutnya dan kemudian induknya akan menaruh makanan di mulutnya tersebut. Ritme sirkadian (jam biologis) kelelawar insektivora yang hanya aktif di malam hari.
3. Perilaku Altruistik. Merupakan perilaku sosial non egois, yaitu salah satu individu mengorbankan diri sendiri untuk menyelamatkan anggota lain dalam koloninya. Perilaku ini bersifat merugikan bagi sang individu altruist karena dapat mengakibatkan kematian tetapi anggota lain akan selamat atas tindakan penyelamatannya. Contoh perilaku altruis adalah perilaku kera yang memberi peringatan kepada koloninya bahwa terdapat predator yang akan menyerang, sehingga anggota koloni dapat segera menyelamatkan diri sedangkan dirinya mungkin saja terbunuh.
4. Perilaku Agonistik. Perilaku agresif yang dilakukan untuk dapat bertahan hidup (survival) atau memperoleh pengakuan dalam kelompok tertentu. Tujuan spesifik dari terjadinya perilaku ini sangat beragam dan dapat terjadi intraspesies atau interspesies. Perilaku ini bisa menyebabkan kematian tetapi kadang hanya berupa ritual.
5. Perilaku Teritorial. Merupakan perilaku mempertahankan suatu area tertentu (home range) dari pesaingnya sehingga hewan tersebut dapat memiliki sumber makanan, tempat bereproduksi atau beraktivitas dan

memelihara anak dan keturunannya dengan pesaing yang minimal atau bahkan tanpa adanya pesaing. Contohnya perilaku harimau dan singa menandai wilayah teritorinya dengan air seninya.

B. Perilaku Terajar

Perilaku yang ditunjukkan sebagai akibat dari proses belajar, atau kejadian tertentu yang memberikan pengalaman. Perilaku terajar ini dibagi menjadi 6 dengan penjelasan sebagai berikut.

- a. Perilaku habituasi (*habituation*). Merupakan jenis perilaku hewan yang mengabaikan suatu stimulus yang berulang-ulang dan tidak membahayakan dirinya. Pada perilaku ini, hewan kehilangan respons terhadap jenis stimulus tertentu yang berdasarkan pengalamannya sebelumnya bahwa stimulus yang ia rasakan tidak pernah memberikan ancaman atau bahaya bagi dirinya sendiri. Contohnya anjing atau kucing yang saat awal dipelihara akan segera menyerang pemiliknya, tetapi jika diusap lehernya secara berulang-ulang dan tidak menimbulkan rasa sakit atau cedera maka anjing atau kucing akan mengabaikan saja tindakan itu yang pada akhirnya ia tidak akan merespon.
- b. Imprinting. Merupakan perilaku pengenalan atau persepsi terhadap suatu objek seperti induk yang berlangsung pada periode kritis setelah lahir (periode kritis ini berbeda masing-masing hewan). Sebagian besar unggas biasanya memperlihatkan perilaku ini ketika baru lahir, salah satunya adalah sekelompok angsa yang baru menetas lalu langsung anda beri makan, maka angsa-angsa tersebut akan menganggap itu sebagai induknya sehingga ia akan mengikuti kemana saja anda pergi. Perilaku ini dapat bersifat permanen namun dapat

- juga hilang seiring bertambahnya usia dan terlewatnya periode kritis.
- c. Perilaku asosiasi pengkondisian klasik (*classical conditioning*). Merupakan perilaku hewan akan terbiasa untuk melakukan tindakan tertentu karena adanya orientasi hadiah (*reward*) yang akan dia peroleh jika hal tersebut ia lakukan dan adanya hukuman (*punishment*) jika ia tidak melaksanakannya. Contohnya pelatihan hewan-hewan sirkus ataupun eksperimen Ivan Pavlov terhadap anjing yang melahirkan Teori Belajar Behavioristik.
 - d. Perilaku asosiasi pengkondisian operan (*operant conditioning*). Merupakan perilaku yang diperoleh dari tindakan coba-coba atau *trial and error*. Semakin dekat individu mendapatkan respon dengan adanya stimulus positif maka akan semakin mudah baginya mengulang keberhasilan respon tersebut. Perilaku ini juga dapat diperoleh dari pengalaman buruk (efek jera) dan juga dapat terjadi kepada hewan yang semakin lama semakin sedikit mengeluarkan energi untuk memperoleh makanan.
 - e. Imitasi. Merupakan perilaku hewan yang diperoleh melalui pengamatan dari perilaku hewan lain lalu menirukannya, tetapi peniruan ini terjadi setelah melewati periode kritis perkembangannya. Contohnya anjing, kucing atau serigala yang belajar teknik berburu mangsa dengan meniru induknya.
 - f. Perilaku inovasi (*insight learning atau reasoning*). Merupakan perilaku paling cerdas hewan yang dapat merespon stimulus pada kondisi tertentu untuk memecahkan masalah secara cepat dan spontan meskipun tidak ada pembelajaran yang identik dengan kondisi tersebut sebelumnya. Contohnya adalah seekor kera yang dikurung dalam ruang tertutup dimana di langit-langit

ruangan digantungkan pisang yang tidak akan dapat diraihnya jika tanpa bantuan alat tertentu. Maka kera tersebut akan segera menyusun kotak-kotak kayu yang ada dalam ruangan membentuk tangga untuk mencapai pisang yang tinggi tersebut.

Selain perilaku bawaan dan perilaku terajar, pada perkembangannya, hewan juga mengenal perilaku lain yang juga berperan dalam proses kehidupan hewan-hewan tersebut, yaitu perilaku sosial. Perilaku sosial adalah perilaku yang dilakukan oleh satu individu atau lebih yang menyebabkan terjadinya interaksi antar individu dan antar kelompok, umumnya dari spesies yang sama.

a. Hirarki dominansi

Banyak hewan hidup dalam kelompok sosial yang dipertahankan oleh perilaku agonisti. Contohnya adalah ayam. Jika beberapa ayam betina yang tidak saling mengenal satu sama lain digabungkan bersama-sama, mereka akan merespon dengan berkelahi dan saling mematuk. Akhirnya kelompok itu akan membentuk suatu “urutan patukan” yang jelas suatu hirarki dominansi yang kurang lebih linier.

b. Sistem perkawinan

Perilaku kawin berhubungan langsung dengan kelestarian hidup hewan. Terdapat suatu hubungan yang erat antara perilaku kawin yang diamati dengan jumlah keturunan, yang seringkali menjadi penentu utama kelestarian hidup seekor hewan. Banyak hewan yang terlibat dalam percumbuan, yang mengumumkan bahwa hewan yang terlibat tidak dirasa mengancam merupakan pasangan kawin yang potensial. Pada sebagian besar spesies, hewan betina memiliki banyak investasi parental dibandingkan dengan hewan jantan dan kawin secara lebih selektif. Hewan jantan pada sebagian besar spesies berkompetisi untuk mendapatkan pasangan

kawin, hewan betina pada banyak spesies terlibat dalam penilaian, atau penyeleksian hewan jantan berdasarkan ciri-ciri yang lebih disukai.

Pada banyak spesies, perkawinan adalah bersifat promiscuous, tidak ada ikatan pasangan yang kuat atau hubungan yang bertahan lama. Pada spesies di mana pasangan kawin masih tetap bersama-sama selama periode waktu yang lama, hubungan itu bisa bersifat monogami (satu jantan mengawini satu betina) atau poligami (individu dari satu jenis kelamin mengawini beberapa individu dari jenis kelamin yang berlawanan). Hubungan poligami yang paling sering melibatkan seekor jantan tunggal dengan banyak hewan betina, disebut poligini. Namun demikian, pada beberapa spesies seekor betina kawin dengan beberapa jantan, disebut poliandri.

c. Perilaku makan

Hewan beragam dalam keluasan cita rasanya. Dari yang sangat khusus hingga ke pemakan umum yang dapat memilih di antara sekumpulan spesies yang dapat dimakan. Tujuan makanan ialah energi, tetapi energi diperlukan untuk mencari makanan. Jadi hewan berperilaku sedemikian rupa untuk memaksimalkan perbandingan kerugian/keuntungan dari pencarian makanan itu. Kerugian energi dari mencari makanan diusahakan seminimum mungkin melalui perkembangan “citra mencari” untuk macam makanan yang, untuk sementara, menghasilkan keuntungan yang besar. Untuk beberapa species, citra mencari itu mungkin bukan perwujudan makannya saja, melainkan tempatnya yang khusus. Banyak pula hewan yang menggunakan energinya untuk membangun perangkap, daya tarik dan sejenisnya untuk menarik mangsanya agar berada dalam jangkauannya. Sebagian besar kehidupan hewan sosial berkisar pada makan bersama. Perilaku makan berbeda-beda pada masing-masing spesies hewan. Contohnya pada Monyet rhesus.

Monyet rhesus adalah binatang siang (diurnal) yang hidup di pohon-pohon maupun di permukaan tanah. Umumnya ia herbivora dan memakan daun-daunan dan daun pinus, akar-akaran, dan kadang-kadang serangga atau binatang-binatang kecil. Monyet ini mempunyai pipi yang khusus seperti kantung, yang memungkinkannya menimbun makanannya. Bahan makanan yang sudah dikumpulkan akan dimakannya belakangan di daerah yang aman. Selain itu, Monyet-monyet yang menemukan makanan biasanya akan mengumumkan hal ini dengan panggilan-panggilan yang khas, meskipun ada yang mengatakan bahwa monyet-monyet muda atau yang rendah kadang-kadang akan berusaha menghindari hal itu apabila temuan mereka tidak diketahui.

d. Perilaku migrasi

Banyak jenis hewan melakukan perjalanan untuk bersarang atau berpindah dari satu tempat ke tempat lainnya. Untuk melakukan hal ini, hewan harus melakukan sendiri jalur terbang dengan stimulus lingkungan. Pergerakan dengan menggunakan ransangan ini disebut dengan *taxis*. Pergerakan serangga ke arah sinar sebagai contoh, disebut dengan fototaksis positif. Serangga yang menghindari cahaya disebut fototaksis negatif. Beberapa jenis hewan bergerak dengan sebab yang belum jelas. Namun banyak juga yang bergerak disebabkan oleh rangsangan kimia yang intensif yang disebut dengan kinesis. Perjalanan sekelompok hewan yang jarak jauh disebut dengan migrasi. Burung-burung dari daratan australia terbang jauh dengan melintasi lautan hingga ke pantai-pantai di Baluran Jawa Timur, angsa dan bebek terbang jauh dari Canada ke Amerika Serikat.



Q. S. An Nahl ayat 68

النَّحْلِ أَنْ آتَّخِذِي مِنَ الْجِبَالِ بُيُوتًا وَمِنَ الشَّجَرِ وَمِمَّا يَعْرِشُونَ

Artinya: Dan Rabbmu mengilhamkan kepada lebah: 'Buatlah sarang-sarang di bukit-bukit, di pohon-pohon kayu, dan di tempat-tempat yang dibikin manusia.

10

EVOLUSI

Kompetensi Dasar:

Memahami dan menerapkan konsep evolusi

Salah satu pendapat mengenai asal usul kehidupan menyatakan bahwa kehidupan di bumi terbentuk melalui proses evolusi. Evolusi berasal dari kata *to evolve* (bahasa Inggris) yang berarti berkembang atau berubah secara perlahan-lahan. Asal katanya adalah *evolūt* (Latin) yang berarti menggulir. Dalam Biologi, kehidupan di muka bumi ini bukan sesuatu yang selesai dan sekali jadi, melainkan bertahap, berevolusi dari waktu ke waktu. Oleh karena itu, evolusi juga dianggap sebagai sejarah biologis adanya makhluk hidup di bumi dari waktu ke waktu.

Beberapa pakar biologi mengatakan bahwa teori biologi merupakan perpaduan antara gagasan dan fakta. Gagasannya yaitu makhluk hidup mengalami evolusi dari tingkat rendah ke tingkat tinggi. Fakta evolusi yaitu berupa bukti fosil, alat tubuh yang tersisa, domestikasi, embriologi perbandingan, anatomi perbandingan, dan petunjuk biokimia.

Perubahan pada makluk hidup menimbulkan dua kemungkinan, yaitu:

- a. Makhluk hidup dapat beradaptasi dengan lingkungan sehingga dapat mempertahankan eksistensinya
- b. Makhluk hidup tidak mampu menyesuaikan diri dengan lingkungan sehingga tersingkir dan punah

Berdasarkan uraian tersebut, evolusi dapat dibedakan menjadi dua, yaitu:

- a. Evolusi progresif, yaitu menghasilkan spesies yang mampu beradaptasi dan bertahan hidup ke kehidupan berikutnya.
- b. Evolusi regresif, yaitu menghasilkan spesies yang tidak dapat beradaptasi dan akhirnya punah.

Ditinjau dari yang skala perubahannya, evolusi dapat dibedakan seperti berikut:

- a. Makroevolusi, yaitu perubahan evolusi yang dapat mengakibatkan perubahan dalam skala besar, mengarah kepada terbentuknya species baru.
- b. Mikroevolusi, yaitu hanya mengakibatkan perubahan dalam skala kecil, mengarah pada perubahan frekuensi gen atau kromosom

A. Percobaan Asal Usul Kehidupan

Penjelasan mengenai asal usul kehidupan masih banyak menimbulkan perdebatan, sama halnya seperti membahas asal usul bumi, sehingga hampir semuanya masih berupa hipotesis. Dalam biologi, dikenal tiga teori asal usul kehidupan, yaitu teori abiogenesis, teori biogenesis, dan evolusi kimia.

1. Teori Abiogenesis (*Generatio spontanea*)

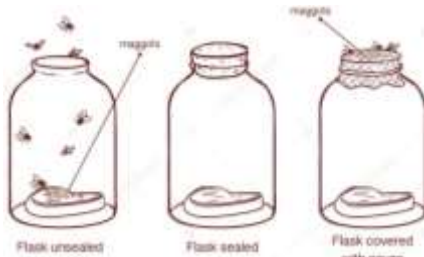
Teori ini pertama kali dikemukakan oleh Aristoteles. Dia mengungkapkan bahwa kehidupan berawal dari benda mati, oleh karena itu teorinya juga disebut dengan *generatio spontanea*. Aristoteles melakukan penelitian pada sekelompok ikan yang melakukan perkawinan, kemudian bertelur. Dari telur tersebut lahir ikan-ikan baru. Namun Aristoteles juga beranggapan bahwa ikan tersebut terbentuk dari lumpur.

2. Teori Biogenesis

Pencetus teori biogenesis yang terkenal diantaranya Francisco Redi, Louis Pasteur, dan Lazzaro Spallazani.

- a. Francisco Redi

Percobaan Francisco Redi menggunakan tiga toples berisi daging.



Gambar 10.1 Percobaan Francisco Redi

Sumber: www.shutterstock.com

Toples pertama terbuka, toples kedua ditutup rapat dan toples ketiga ditutup kain kassa. Setelah beberapa lama, pada toples pertama ditemukan banyak

larva dan lalat yang keluar masuk toples. Toples kedua bersih dari larva, sedangkan toples ketiga hanya larva saja pada daging dan kassa. Redi menyimpulkan bahwa larva tersebut berasal dari lalat (*omne vivum ex vivo*, setiap makhluk hidup berasal dari makhluk hidup lainnya).

b. Lazzaro Spallazani

Perhatikan gambar berikut!

Hampir sama dengan yang dilakukan oleh Redi, Lazzaro Spallanzani melakukan pengujian dengan memanaskan air kaldu (rebusan daging) di dua tempat yang berbeda.



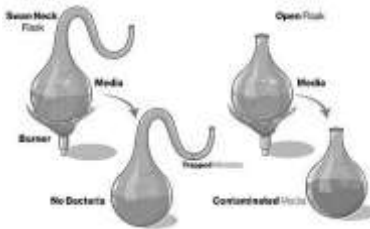
Gambar 10.2 Percobaan Lazzaro Spallanzani

Sumber: www.dreamstime.com

Labu pertama ditutup rapat sedangkan labu kedua dibiarkan terbuka. Hasilnya adalah air kaldu pada labu pertama tetap jernih, sedangkan yang kedua menjadi keruh.

c. Louis Pasteur

Perhatikan gambar berikut!



Gambar 10.3 Percobaan Louis Pasteur
Sumber: www.istockphotos.com

Louis Pasteur melakukan uji coba menggunakan air kaldu yang dimasukkan ke dalam labu leher angsa. Air kaldu tersebut dididihkan dan dibiarkan beberapa hari dalam posisi tegak. Ketika diamati, air

kaldu tersebut tetap bersih. Kemudian labu leher angsa tersebut dimiringkan kemudian dibiarkan selama beberapa hari dalam posisi tegak kembali. Hasilnya adalah air kaldu tersebut menjadi keruh karena menyentuh udara luar melalui mulut pipa leher angsa.

3. Teori evolusi kimia (teori biologi modern)

Pemikiran-pemikiran baru mengenai teori evolusi berkembang seiring perubahan jaman. Proses pembentukan kehidupan di permukaan bumi yang terjadi secara perlahan-lahan menghasilkan adanya kehidupan.

a. Alexander Oparin

Evolusi zat kimia telah terjadi sebelum kehidupan ada, bersamaan dengan evolusi terbentuknya bumi dan atmosfernya. Atmosfer bumi mengandung air, metana, amonia, dan CO_2 tetapi tidak ada O_2 . Panas dari berbagai sumber mengalami serangkaian perubahan menjadi berbagai molekul organik sederhana yang membentuk campuran di laut yang masih panas (*primordial soup*) yang melakukan sintesis lalu membentuk molekul organik kecil atau monomer, yang kemudian bergabung lagi membentuk polimer.

Saat ini tidak dimungkinkan lagi adanya pembentukan sintesis molekul secara spontan karena atmosfer kita sudah mengandung banyak oksigen yang akan memecah ikatan kimia.

b. Harold Urey

Teori yang dikemukakan Urey didasarkan pada pemikiran bahwa bahan organik adalah bahan dasar yang dimiliki organisme untuk hidup. Pada mulanya, bahan ini dibentuk sebagai reaksi gas yang ada di alam dengan bantuan energi.

c. Stanley Miller

Sebenarnya, Miller adalah murid Urey. Ia membuktikan percobaan Urey menggunakan serangkaian alat yang didesain khusus menyerupai kondisi bumi sebelum ada kehidupan. Gas seperti uap air, hidrogen, metana, dan amonia dimasukkan ke dalam alat tersebut dan diberi perlakuan. Untuk menggantikan halilintar yang dulu memang kerap ditemukan, Miller menggunakan aliran listrik 75000 volt. Hasil percobaan Miller menghasilkan zat organik berupa asam amino.

B. Teori Evolusi

1. Aristoteles

Aristoteles (384-322) adalah salah satu orang yang menganut teori skala alami (*scalae naturae*). Pandangannya mengenai hidup ini berlaku selama 2000 tahun. Aristoteles meyakini bahwa semua bentuk kehidupan disusun menurut suatu skala atau tangga yang kompleksitasnya meningkat ke atas. Setiap bentuk kehidupan mempunyai tingkatan yang berbeda-beda, artinya makhluk hidup dapat berkembang dari tingkatan rendah menuju ke tingkatan yang lebih tinggi. Ketika perkembangan makhluk hidup telah mencapai tingkatan tertinggi maka makhluk itu bisa dibilang telah permanen atau sempurna, dan tidak berkembang lagi.

Aristoteles berpendapat bahwa telur-telur ikan apabila menetas akan menjadi ikan yang sifatnya sama seperti induknya. Telur-telur tersebut merupakan hasil perkawinan dari induk-induk ikan. Walau demikian, Aristoteles berkeyakinan bahwa selain dari induknya ada juga ikan yang berasal dari lumpur. Pertanyaan yang kemudian muncul adalah bagaimana cara terbentuknya makhluk tersebut? Menurut penganut paham abiogenesis, makhluk hidup tersebut terjadi begitu saja atau secara spontan dari alam. Oleh sebab itu, paham atau teori abiogenesis ini disebut juga paham *generation spontaneae*.

Maka pengertian abiogenesis dan generatio spontanea digabungkan pendapat paham tersebut adalah makhluk hidup yang pertama kali di bumi tersebut dari benda mati/tak hidup yang terjadinya secara spontan, misalnya:

- Ikan dan katak berasal dari lumpur
- Cacing berasal dari tanah
- Belatung berasal dari daging yang membusuk

Paham abiogenesis bertahan cukup lama, yaitu semenjak zaman Yunani Kuno (ratusan tahun sebelum masehi) hingga pertengahan abad ke-17. Hal ini disebabkan oleh belum adanya alat yang mampu melihat benda-benda mikroskopik.

2. Jean Baptise Lamarck

J.B de Lamarck (1774-1829) adalah seorang sarjana Perancis yang merupakan orang pertama yang secara ilmiah mengemukakan teori evolusi. Sebelum teori Lamarck sebenarnya sudah ada yang mengajukan pendapat bahwa dunia berkembang berkembang secara evolutif yaitu seorang sarjana Yunani bernama Empedokles (490-530 SM). Menurutnya dunia ini tersusun atas 4 yaitu air, api, udara dan tanah. Selain itu Empedokles berpendapat bahwa makhluk hidup tinggi dari makhluk hidup tingkat rendah.

Menurut Lamarck mengenai evolusi, di dalam buku berjudul "*Philosophic zoologique*", alam sekitar/lingkungan mempunyai pengaruh terhadap ciri-ciri atau sifat yang diwariskan terjadi karena pengaruh alam atau adanya perubahan alam. Perubahan alam menjadikan makhluk hidup untuk beradaptasi atau menyesuaikan diri agar tetap mampu mempertahankan kelangsungan hidupnya. Perubahan pola bertahan hidup ini menjadikan generasi berikutnya mewarisi hal-hal tersebut, seperti cara memperoleh makanan dan sebagainya.

Sebagai contoh cara memperoleh makanan pada jerapah, organ yang sering digunakan akan mengalami perkembangan atau berkembang lebih cepat, apabila tidak digunakan akan mengalami semacam pengerutan kemudian hilang. Sebagai contoh Lamarck berpendapat bahwa dahulu, jerapah memiliki leher yang pendek dan hanya mampu mencapai daun di pohon yang tidak terlalu tinggi. Tetapi semakin lama daun di tanah habis dan adanya perubahan alam mengakibatkan ketersediaan makanan berkurang. Keturunan jerapah yang dapat beradaptasi baik (dapat mengambil makanan di pohon yang tinggi), leher jerapah berkembang menjadi lebih panjang dan mewariskan sifat-sifat kepada keturunannya. Namun sebaliknya, bagi keturunan jerapah yang tidak dapat beradaptasi baik dengan lingkungan, maka ia akan mengalami kematian.

3. *Charles Darwin*

Charles Darwin (1809-1882) adalah ahli zoologi yang menerbitkan buku mengenai asal mula spesies pada tahun 1859, dengan judul "*On The Origin of Species by Means of Natural Selection*" atau "*The Preservation of Favored Races in The Struggle for Life*". Mengenai evolusi, Darwin berpendapat bahwa yang menjadi dasar

evolusi organik bukan dari adaptasi makhluk hidup terhadap perubahan lingkungan, melainkan karena adanya seleksi alam dan faktor perkawinan atau seksual. Seleksi alam berupa "mekanisme persaingan" dalam kehidupan, yang kuat akan terus hidup dan yang lemah akan kalah/mati kemudian punah. Setiap populasi berkecenderungan untuk tumbuh banyak karena proses reproduksi. Untuk berkembang biak, diperlukan adanya makanan dan ruang yang cukup. Bertambahnya suatu populasi tidak berjalan terus-menerus karena perubahan alam semaki tidak mendukung untuk kehidupan.

C. Mekanisme Evolusi

Proses evolusi dapat terjadi karena variasi genetik dan seleksi alam. Adanya variasi genetik akan memunculkan sifat-sifat baru yang akan diturunkan. Variasi genetik ini disebabkan karena adanya mutasi gen. Seleksi alam juga merupakan mekanisme evolusi. Individu-individu akan beradaptasi dan berjuang untuk mempertahankan hidupnya, sehingga individu akan mengalami perubahan morfologi, fisiologi, dan tingkah laku. Jadi mekanisme evolusi terjadi dari hal-hal seperti dijelaskan berikut:

1. Adaptasi dan Seleksi Alam

Adaptasi makhluk hidup diikuti dengan proses seleksi alam. Individu yang dapat beradaptasi dengan perubahan alam dapat mempertahankan hidup, resisten dan dapat melanjutkan keturunannya. Sedangkan individu yang tidak dapat beradaptasi akan mati dan punah.

2. Aliran Gen (*gene flow*)

Aliran gen yaitu transfer alel diantara populasi-populasi melalui migrasi dan individu yang kawin. Migrasi ini

mengakibatkan perubahan frekuensi alel yang muncul pada suatu populasi.

3. Perkawinan Non Acak (*Non-random Mating*)

Perkawinan non acak atau perkawinan asortatif dapat mengakibatkan penyebaran alel yang tidak acak, sehingga frekuensi sifat yang lebih disukai akan lebih sering muncul dalam populasi. Perkawinan yang terjadi antar keluarga dekat dapat mengakibatkan frekuensi gen abnormal atau gen resesif. Perkawinan jenis ini dapat mengganggu keseimbangan Hardy-Wienberg.

4. *Genetic Drift*

Genetik Drift merupakan perubahan secara acak pada frekuensi gen dari populasi kecil yang terisolasi. Keadaan ini dapat dijumpai pada populasi terisolir kaum Amish di Amerika, ternyata ada yang membawa alel yang menyebabkan sifat cebol satu dari setiap seribu kelahiran.

Hasil perkawinan secara acak ditandai dengan frekuensi alel yang statis pada suatu populasi. Penghitungan populasi secara acak tersebut dapat ditentukan dengan “**Hukum Hardy Weinberg**”. Hukum Hardy Weinberg menyatakan bahwa frekuensi gen dalam populasi dapat tetap distabilkan dan tetap berada dalam keseimbangan dari satu generasi ke generasi selanjutnya. Syarat terjadinya prinsip ini adalah:

- perkawinan acak (*random mating*)
- tidak ada seleksi alam
- jumlah populai besar
- tidak terjadinya mutasi maju atau surut
- tidak ada migrasi

D. Bukti Evolusi

Pendekatan terhadap kenyataan/fakta yang ada di sekitar kita berguna untuk menunjukkan bukti-bukti bahwa proses

evolusi itu ada. Walaupun dapat tidaknya kenyataan-kenyataan tersebut dijadikan bukti adanya evolusi tergantung dari interpretasi para pakar yang bersangkutan. Beberapa petunjuk adanya evolusi, yaitu sebagai berikut.

6. Anatomi Perbandingan, merupakan pendekatan untuk menginterpretasi bukti-bukti paleontologi. Para ahli mencoba menemukan persamaan dan perbedaan antara struktur dasar (*fundamental structure*) organisme hidup. Sebagai contoh, semua hewan vertebrata memiliki struktur dasar yang sama, yaitu kerangka utama penyangga tengkorak dan tulang belakang; tulang rusuk yang melindungi jantung dan paru-paru, tertancap pada tulang belakang; sepasang organ tambahan; dan sistem peredaran darah, pernafasan atau respirasi, pencernaan, pengeluaran yang sama.
7. Fosil, yaitu sisa makhluk hidup atau sebagian dari makhluk hidup yang tertimbun oleh tanah, pasir, lumpur yang membatu. Kadang-kadang hanya berupa bekas-bekas organisme. Fosil dapat ditemukan di berbagai macam lapisan bumi, sehingga penentuan umurnya didasarkan atas umur lapisan tanah tempat fosil ditemukan. Umumnya, fosil yang terdapat di lapisan yang paling dalam mempunyai umur yang lebih tua, sedangkan umur fosil yang ditemukan pada lapisan yang lebih atas mempunyai umur yang lebih muda.
8. Sisa organ. Merupakan alat-alat sisa yang meskipun tidak lagi menunjukkan fungsi nyata tapi tetap dijumpai dan jumlahnya cukup banyak. Adapun organ-organ sisa yang dimaksud antara lain: apendiks, selaput mata sebelah dalam, otot-otot penggerak telinga, tulang ekor, gigi taring yang runcing, geraham ketiga, rambut di dada, mammae pada laki-laki, *musculus piramidalis*, sisa kaki belakang pada ular piton yang mirip benjolan kuku, dan sisa bangunan sayap pada burung kiwi.

9. Bukti biogeografi. *Biogeografi* mempelajari distribusi geografi dari tanaman dan hewan. Darwin menemukan bahwa spesies tanaman dan hewan umumnya tidak berdistribusi jauh dari habitat yang potensial. Spesies baru muncul pada satu tempat dan kemudian menyebar menuju keluar dari titik atau tempat asal. Beberapa spesies distribusinya lebih luas tetapi tidak dapat melewati barrier-barrier alami yang terpisah daerah biogeografis yang besar. Contohnya di Australia, kanguru (*marsupial*) mempunyai kantong yang berperan sebagai tempat menyusui dan melindungi anaknya, pada daerah biogeografi yang lain kanguru (*marsupial*) hampir tidak ditemukan. Demikian pula burung Finch di Kepulauan Galapagos, Amerika Selatan.
10. Domestikasi. Usaha manusia untuk menjadikan hewan/tanaman liar menjadi tanaman/hewan yang dapat dikuasai dan bermanfaat bagi manusia. Pada dasarnya tindakan ini adalah memindahkan makhluk hidup dari lingkungan aslinya ke lingkungan yang diciptakan oleh manusia. Tindakan ini dapat mengakibatkan timbulnya jenis-jenis hewan dan tumbuhan yang menyimpang dari aslinya, yang mengarah pada terbentuknya spesies baru. Peristiwa persilangan dari dua varietas tanaman/hewan dan pemuliaan tanaman juga dapat memunculkan spesies baru.
11. Perbandingan fisiologi. Makhluk hidup memiliki jumlah dan morfologi sel yang berbeda. Secara genetis, satu spesies sama, tapi fenotipnya bisa jadi berbeda. Fenotip suatu organisme ditentukan oleh faktor genetika dan lingkungan dan merupakan variasi dari organisme tersebut. Jadi variasi individu terbentuk karena adanya variasi genetika dan perbedaan kondisi lingkungan. Contoh kita dapat memperhatikan keturunan dalam satu keluarga, setiap orang memiliki keunikan tersendiri meskipun

- mempunyai orang tua/ leluhur yang sama. Begitu pula metabolisme tiap individu juga berbeda
12. Perbandingan embriologi. Semua anggota Vertebrata dalam perkembangan embrionya menunjukkan adanya persamaan. Persamaan perkembangan embrio dimulai dari tahap: peleburan sperma dengan ovum → zigot → pembelahan (cleavage) → morulla → blastula → gastrula → tahap awal perkembangan embrio
 13. Perbandingan biokimia. Kekerbatan antara berbagai jenis makhluk hidup dapat diuji secara biokimia. Salah satu percobaan biokimia yang dapat digunakan untuk mengetahui tingkat kekerabatan berbagai organisme adalah *uji presipitin* oleh Natael. Dasar percobaan ini adalah adanya presipitin atau endapan pada suatu reaksi *antigen-antibodi*. Banyak sedikitnya endapan yang terbentuk dapat digunakan untuk menentukan jauh dekatnya kekerabatan antara suatu organisme yang satu dengan organisme yang lainnya.
 14. Perbandingan genetik. Karya Mendel membantah adanya teori percampuran dalam keturunan (*The Blending Theory of Inheritance*) yaitu, pemikiran bahwa ciri-ciri orang tua diwariskan kepada anak dan kemudian bercampur, lalu diwariskan ke generasi berikut dalam bentuk campuran. Eksperimen Mendel membuktikan justru kebalikannya yang benar; yakni faktor genetik ciri atau sifat yang diwarisi dari orang tua hanya bergabung untuk sementara waktu dalam diri anak, dan dalam generasi berikutnya faktor genetik tersebut akan pecah atau memisah lagi menjadi satuan-satuan yang ada pada induk aslinya.
 15. Bukti molekuler. Evolusi molekuler merupakan merupakan proses evolusi yang terjadi pada skala DNA, RNA, dan protein. Evolusi molekuler pada dasarnya menjelaskan dinamika perubahan evolusi pada tingkat molekuler, bahasan pada evolusi molekuler itu meliputi perubahan materi genetik (urutan DNA atau RNA) dan produknya

serta rata-rata dan pola perubahannya serta mengkaji pula sejarah evolusi organisme dan makromolekul yang didukung data-data molekuler (filogeni molekuler). Semua organisme hidup memiliki materi genetik (DNA) yang hampir sama, menggunakan kode-kode genetik yang sama, dan memiliki molekul berenergi tinggi (ATP). Sebagai materi genetik, DNA berfungsi mulai dari perkembangan awal setiap organisme. Kode genetik makhluk hidup tersusun oleh gula ribosa, pospat, dan empat basa nitrogen yang saling berkombinasi menghasilkan sifat-sifat fenotif yang berbeda dan bersifat universal. Melalui proses transkripsi dan translasi kode-kode genetik ini diterjemahkan menjadi asam amino-asam amino yang menyusun protein. Secara universal protein seluruh makhluk hidup tersusun oleh kombinasi 20 asam amino.



Q. S. Al Ankabut ayat 20

قُلْ سِيرُوا فِي الْأَرْضِ فَانظُرُوا كَيْفَ بَدَأَ الْخَلْقَ ثُمَّ اللَّهُ يُنشِئُ
النَّشْأَةَ الْآخِرَةَ إِنَّ اللَّهَ عَلَىٰ كُلِّ شَيْءٍ قَدِيرٌ ﴿٢٠﴾

Artinya: Katakanlah, "Berjalanlah di bumi, maka perhatikanlah bagaimana (Allah) memulai penciptaan (mahluk), kemudian Allah menjadikan kejadian yang akhir. Sungguh, Allah Mahakuasa atas segala sesuatu.

REFERENSI

- Alberts B, Bray D, Lewis J, Raff M, Roberts K, Watson JD. 1989. *Molecular Biology of The Cell 2nd ed.* New York: Garland Publ., Inc
- Campbell, Neil A., Jane B Reece, Lawrence G. Mitchell. 2021. *Biologi.* Newyork: Benjamin Cummings.
- Gilbert, S.F. 2000. *Developmental Biology.* Baltimore; Sinauer Associated Inc.
- Hopkins. W.g. 1995. *Introduction to Plant Physiology.* Second Edition. John Willey & Sons. New York.
- Lehninger, A. (Alih bahasa Maggy Thenawijaya). 1990. *Dasar-dasar Biokimia* Jilid II. Jakarta : Penerbit Erlangga.
- Mader, S.S. 2004. *Biology.* Boston. McGraw-Hill.
- Mallette, M.F. (1960). *Biochemistry of Plants and Animals An Introduction.* United State of America: John Wiley and Sons, Inc.
- Odum, E.P. 1994. *Ekologi (Terjemahan).* Yogyakarta; Gadjahmada University Press.
- Rachmadiarti, Fida dkk. 2007. *Biologi Umum.* Surabaya; Unesa University Press.
- Salisbury, F. B., & Ross, C. W. 1995. *Fisiologi Tumbuhan.* Penerbit ITB.
- Singh, G. 2010. *Plant Systematics An Integrated Approach.* Science Publishers: Delhi.
- Sugiyono. 2019. *Metode Penelitian Pendidikan (Kuantitatif, Kualitatif, Kombinasi, R&D dan Penelitian Pendidikan).* Bandung : penerbit Alfabeta.
- Suryo. 2013. *Genetika.* Yogyakarta: UGM Press.
- Tjitrosoepomo, G. 2014. *Taksonomi Tumbuhan.* Gadjah Mada Press: Yogyakarta.
- Watson, J.D. 1982. *Molecular Biology of Gene.* Benjamin Ltd.