

BIOLOGI UMUM I

**Sanksi Pelanggaran Pasal 72
Undang-undang Nomor 19 Tahun 2002
Tentang Hak Cipta**

1. Barang siapa dengan sengaja melanggar dan tanpa hak melakukan perbuatan sebagaimana dimaksud dalam Pasal 2 Ayat (1) atau Pasal 49 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).

Suhirman

BIOLOGI UMUM I

Institut Agama Islam Negeri (IAIN) Mataram

Suhirman

Biologi Umum I

Institut Agama Islam Negeri (IAIN) Mataram, 2016

x + 187 hlm.; 16 x 24 cm

ISBN: xxx-xxx-xxxxx-x-x

I. Sains

II. Judul

Biologi Umum I

Penulis : Suhirman
Editor : Edi M. Jayadi
Layout : Muhammad Amalahanif
Desain Cover : El Kasafany

Cetakan I, Desember 2016

Penerbit:
Institut Agama Islam Negeri (IAIN) Mataram
Jln. Pendidikan No. 35 Mataram, Nusa Tenggara Barat 83125
Telp. 0370-621298, 625337. Fax: 625337

SAMBUTAN REKTOR

Segala pujian hanya menjadi hak Allah. Shalawat dan salam kepada Nabi Mulia, Muhammad SAW.

Eksistensi dari idealisme akademis civitas akademika IAIN Mataram, khususnya para dosen, tampaknya mulai menampakkan dirinya melalui karya-karya tulis mereka. Karya tulis yang difasilitasi oleh Project Implementation Unit (PIU) IsDB, seperti beberapa buah buku dalam berbagai disiplin keilmuan semakin mempertegas idealisme akademis tersebut. Kami sangat menghargai dan mengapresiasinya.

Dalam konteks bangunan intelektual yang sedang dan terus dikembangkan IAIN Mataram melalui “Horizon Ilmu” juga menjadi bagian yang tidak terpisahkan dari karya-karya dosen tersebut, terutama dalam bentangan keilmuan yang saling mendukung dan terkait (intellectual connecting). Bagaimanapun, problem kehidupan tidaklah tunggal dan variatif. Karena itu, berbagai judul maupun tema yang ditulis oleh para dosen tersebut adalah bagian dari faktualitas “kemampuan” para dosen dalam merespon berbagai problem tersebut.

Kiranya, hadirnya beberapa buku tersebut harus diakui sebagai langkah maju dalam percaturan akademis IAIN Mataram, yang mungkin, dan secara formal memang belum terjadi di IAIN Mataram. Kami sangat berharap tradisi akademis seperti ini akan terus kita kembangkan secara bersama-sama dalam rangka dan upaya mengembangkan IAIN Mataram menuju suatu tahapan kelembagaan yang lebih maju.

Terimakasih kepada Drs. H. Lukmanul Hakim, M.Pd (selaku ketua PIU IsDB IAIN Mataram) yang telah memfasilitasi para dosen, dan kepada para penulis buku-buku tersebut.

Rektor IAIN Mataram

Dr. H. Mutawali, M.Ag

KATA PENGANTAR

Buku Biologi Umum 1 ini berisi tentang uraian materi-materi yang berkaitan dengan bidang Biologi Dasar, diantaranya adalah uraian tentang materi kehidupan yang mengupas ruang lingkup atom, unsur, molekul, senyawa, larutan serta unsur air sebagai salah satu materi kehidupan. Dibahas pula tentang struktur dan fungsi sel pada makhluk hidup sekaligus struktur fisik dan kimia sel. Hal ini penting mengangkat sel merupakan unit dasar dari kehidupan. Dikemukakan pula materi yang berkaitan dengan pewarisan sifat atau dikenal dengan sebutan Genetika yang menguraikan tentang hukum Mendel, persilangan monohybrid dan dihibrid termasuk ekspresi gen di dalam kromosom. Tidak ketinggalan juga dalam buku ini menguraikan tentang keanekaragaman hayati atau *Biodiversity*, pembahasan tentang metabolisme (anabolisme dan katabolisme), juga peranan enzim di dalam kerja metabolisme sel, membahas tentang ekologi dan ilmu lingkungan dan juga kajian mengenai ekologi dan asal usul kehidupan sebagai materi terakhir pada mata kuliah Biologi Umum 1.

Buku ini adalah sebagai salah satu penerima Insentif Buku Referensi Tahun 2016 yang difasilitasi oleh IsDB (*Islamic Development Bank*) yang telah lolos seleksi Buku Referensi 2016.

Dalam kesempatan ini, penulis tidak lupa mengucapkan terima kasih kepada beberapa pihak, yakni Pimpinan Institut Agama Islam Negeri Mataram dan segenap jajaran IsDB IAIN Mataram atas kesempatan yang diberikan dalam penulisan buku referensi ini. Ucapan terima kasih khusus penulis ucapkan kepada Istri tercinta yang telah membantu dalam penyiapan buku ini dari awal sampai akhir.

Semoga Allah SWT membalas dengan paha;a dan kebaikan-kebaikan kepada semua pihak yang telah membantu terselesainya penulisan buku ini. Selamat membaca

Mataram, Oktober 2016

Penulis

DAFTAR ISI

Sambutan Rektor.....	v
Kata Pengantar.....	vi
Daftar Isi.....	vii

BAB I

MATERI KEHIDUPAN

A. Uraian.....	1
B. Pengertian Atom.....	2
C. Unsur.....	7
D. Lambang Unsur.....	9
E. Lambang Senyawa atau Rumus Kimia.....	10
F. Molekul dan Larutan.....	11
G. Air Sebagai Salah Satu Unsur Kehidupan.....	13
H. Karbon Sebagai Bahan Dasar Senyawa Organik Penyusun Kehidupan.....	15
I. Senyawa-Senyawa Karbohidrat, Protein, Lipid/Lemak dan Asam Nukleat.....	17

BAB II

FUNGSI DAN STRUKTUR SEL

A. Uraian.....	22
B. Sejarah dan Pengertian Sel.....	22
C. Struktur dan Fungsi Sel.....	25

BAB III

SIFAT-SIFAT FISIK DAN KOMPOSISI KIMIA SEL

A. Uraian.....	43
B. Bahan Anorganis.....	44
C. Bahan Organis.....	46

BAB IV

GENETIKA I

A. Uraian.....	56
B. Sejarah Genetika.....	56

C. Gen dan Kromosom	58
D. Genetika Molekuler	66
E. Pewarisan Sifat.....	66
F. Aspek-aspek dalam Pewarisan Sifat	68
G. Manfaat Pewarisan Sifat.....	74

BAB V

GENETIKA II

A. Uraian.....	75
B. Penyelarasan Ekspresi Gen.....	76
C. Sintesis Protein.....	81

BAB VI

METABOLISME

A. Uraian.....	83
B. Metabolisme	84
C. Komponen-komponen yang Berperan dalam Metabolisme	86
D. Anabolisme	94
E. Katabolisme	98
F. Hubungan antara Metabolisme Karbohidrat, Lemak dan Protein	107

BAB VII

KEANEKARAGAMAN HAYATI

A. Uraian.....	111
B. Konsep Keanekaragaman Hayati.....	112
C. Definisi Keanekaragaman Hayati.....	114
E. Tingkat Keanekaragaman Hayati.....	115
D. Keanekaragaman Hayati di Indonesia.....	125
E. Manfaat dan Nilai Keanekaragaman Hayati	131

BAB VIII

EKOLOGI DAN LINGKUNGAN HIDUP

A. Uraian.....	134
B. Ekologi.....	135
C. Lingkungan Hidup.....	152
D. Pencemaran Lingkungan	153
E. Asas-asas dalam Ilmu Lingkungan	154

BAB IX

EVOLUSI DAN ASAL USUL KEHIDUPAN

A. Uraian..... 162

B. Pengertian Evolusi 163

C. Teori Evolusi Menurut Para Ahli..... 163

D. Perbandingan antara Teori Evolusi Lamarck dengan Teori Evolusi Darwin 167

E. Bantahan atau Sanggahan para Ahli Terhadap Teori Evolusi 168

F. Macam-macam Evolusi 169

G. Bukti-bukti Evolusi 170

H. Mekanisme Evolusi 175

I. Pandangan Baru Evolusi 177

J. Teori Asal Usul Kehidupan 178

Daftar Pustaka..... 184

BAB I

MATERI KEHIDUPAN

A. Uraian

Partikel merupakan satuan dasar dari suatu benda atau materi, artinya partikel bagian dari suatu materi. Terdapat 3 [tiga] jenis partikel yaitu atom, molekul, dan ion. Karena itu baik atom, molekul, dan ion merupakan satuan terkecil dari materi yang secara umum disebut dengan partikel.

Beberapa ahli filosofi dari Yunani mempercayai bahwa variasi yang besar dari suatu zat muncul empat elemen dasar yaitu air, udara, api, dan tanah. Keempat elemen tersebut tidak dapat diuraikan ke dalam bentuk lain.

Senyawa adalah sebuah materi terdiri atas unsur-unsur kimia dalam bentuk murni maupun kombinasi. Organisme tersusun atas materi, yakni segala sesuatu yang menempati ruang dan memiliki massa. Materi terdapat dalam berbagai bentuk seperti batu, logam, minyak, gas, dan manusia hanyalah bagian dari contoh apa yang tampaknya menjadi kumpulan berbagai macam materi yang tidak terhingga.

Terdapat empat makromolekul utama yang dijumpai pada sistem kehidupan yaitu: 1) karbohidrat yang berfungsi sebagai bahan bakar atau nutrisi, sebagai cadangan energi, dan sebagai materi pembangun; 2) protein yang berfungsi sumber energi, pembentukan dan perbaikan sel dan jaringan, sintesis hormon, enzim, dan antibodi, pengatur keseimbangan kadar asam basa dalam sel, dan katalisator berbagai reaksi; 3) lemak berfungsi: sebagai penghasil energi (1 gram = 9,3 kalori), pembangun bagian-bagian sel tertentu, pelarut beberapa vitamin, yaitu vitamin A, D, E, dan K, dan sebagai pelindung tubuh dari suhu rendah; 4) asam nukleat berfungsi menentukan sifat-sifat keturunan dan mengendalikan semua bagian metabolisme di dalam sel, serta pembawa informasi genetik.

B. Pengertian Atom

Atom adalah unit struktural terkecil yang mempunyai sifat unsur, bagian materi yang sangat kecil, tersusun atas bagian yang lebih kecil lagi disebut partikel sub atom. Beberapa pengertian atom menurut para ahli sebagai berikut:

1. Demokritos menyatakan bahwa atom adalah partikel terkecil penyusun seluruh materi di alam semesta.
2. John Dalton mengemukakan bahwa atom merupakan partikel terkecil dari suatu unsur yang masih mempunyai sifat seperti unsurnya.
3. J.J. Thomson menguraikan atom adalah bola yang bermuatan positif dan elektron yang bermuatan negatif tersebar secara merata.
4. Ernest Rutherford menyebutkan atom adalah partikel yang terdiri dari inti atom, yaitu proton dan neutron yang berada pada bagian pusat dan dikelilingi elektron-elektron. Atom merupakan partikel-partikel kecil yang masih mempunyai sifat unsur.

Menurut ahli Fisika, jari-jari suatu atom sekitar 3-15 nm ($1 \text{ nm} = 10^{-9}$ meter). Sampai sekarang belum ditemukan alat untuk memperbesar atom agar dapat diamati secara lebih jelas. J.J. Thomson merekomendasikan model atom seperti roti dan kue onde-onde. Suatu bola pejal yang permukaannya dikelilingi elektron dan partikel lain yang bermuatan positif sehingga atom bersifat netral.¹

Untuk membuktikan teori atom Thomson, maka Rutherford melakukan suatu percobaan atau eksperimen dengan penembakan lempeng tipis dengan partikel alfa. Model atom Rutherford seperti pada tata surya, sebab mengelilingi inti secara terus menerus. Hal tersebut dijelaskan oleh Rutherford bahwa benda yang bergerak melingkar mempunyai gaya sentrifugasi (F_{sp}) dan sentripetal (F_{sf}). Gaya sentrifugasi mengarah ke pusat lingkungan dan berhimpitan dengan jari-jari, sedangkan gaya sentripetal mengarah ke luar jari-jari atom.

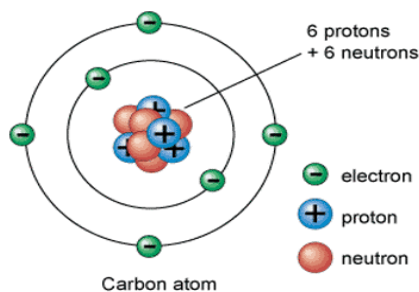
Dasar-dasar adanya atom ini berasal dari teori yang dikemukakan oleh John Dalton (1766-1844). Dalton mengatakan bahwa semua unsur kimia tersusun atas partikel-partikel yang sangat kecil, yang disebut atom, yang tidak bisa pecah saat zat-zat kimianya direaksikan. Satu lagi pendapatnya, yaitu semua reaksi kimia merupakan akibat saling bergabungnya atau

¹ Saeful Karim, dkk. *Belajar IPA*. (Jakarta Pusat: Penerbit CV. Karya Mandiri Pratama. 2006). 12

terpisahnya atom-atom. Teori atom Dalton menjadi dasar untuk ilmu pengetahuan modern. Adapun pendapat lain dari John Dalton adalah:

1. Setiap unsur terdiri atas partikel-partikel terkecil yang tak dapat dibagi-bagi lagi, disebut atom.
2. Semua atom dari unsur yang memiliki ukuran dan masa yang sama. Atom-atom dari unsur yang berbeda mempunyai masa yang berbeda pula. Dengan demikian, banyaknya macam atom sama dengan banyaknya macam unsur.
3. Atom-atom tidak dapat dirusak atau dihilangkan. Atom-atom tidak dapat dimusnahkan atau diciptakan melalui reaksi kimia.
4. Melalui reaksi kimia, atom-atom dari pereaksi memiliki susunan yang baru dan saling terikat satu sama lain dengan rasio atau perbandingan bilangan tertentu.

Menurut Campbell atom adalah unit terkecil yang memiliki sifat unsur, bagian materi yang sangat kecil, tersusun atas bagian yang lebih kecil lagi yang disebut partikel sub atom. Para ahli fisika menguraikan atom menjadi lebih dari 100 partikel, di antara yakni neutron, proton, dan elektron.² Para ahli fisika telah menguraikan atom menjadi 3 (tiga) jenis partikel yang relevan yaitu neutron, proton dan elektron. Proton merupakan partikel atom yang bermuatan positif, sedangkan elektron adalah partikel atom yang bermuatan negatif. Setiap proton memiliki satu unit muatan positif sementara setiap elektron memiliki satu unit muatan negatif. Sedangkan neutron merupakan partikel atom yang tidak bermuatan atau bermuatan netral.



Gambar 1.1. Sebuah Atom

² Neil A. Campbell dan Jane B. Reece. *Biologi*. Edisi Kedelapan. Jilid 1 (Jakarta: Penerbit Erlangga, 2008). 32

Proton dan neutron dikemas secara berdekatan dalam inti, atau nukleus atom yang rapat di pusat atom. Massa neutron dan proton hampir identik masing-masing sekitar $1,7 \times 10^{-24}$ gram.

Menurut Neil A. Campbell dan Jane B. Reece atom memiliki beberapa sebutan, seperti:

1. Proton: partikel atom yang bermuatan positif.
2. Elektron: partikel atom yang bermuatan negative.
3. Neutron: partikel atom yang bermuatan netral atau tidak bermuatan.
4. Isotop: partikel atom yang bervariasi.³

Oleh karena itu atom merupakan partikel terkecil yang berasal dari suatu unsur tetap yang mempunyai sifat fisik dan kimia. Para ahli membagi atom menjadi tiga bagian subatom (partikel) yang stabil yakni proton, neutron, dan elektron. Dimana ketiga partikel tersebut membentuk sebuah atom. Atom tersebut membentuk atom yang merupakan unit dasar dari suatu materi yang terdapat di dalam reaksi-reaksi kimia dalam tubuh organisme hidup. Menurut Yayan Sunarya apabila proton dan neutron bersatu akan membentuk inti atom.⁴

Atom-atom dalam keadaan tunggal tidak memiliki sifat-sifat tertentu, seperti warna, wujud, massa jenis, daya hantar listrik, titik didih, titik leleh, dan sebagainya. Sifat-sifat itu baru muncul jika atom-atom dalam jumlah besar bergabung membentuk kumpulan atom dengan cara-cara tertentu.

Untuk mempermudah mempelajari tentang sifat-sifat unsur dan senyawanya, para ahli kimia menyusun unsur-unsur dalam suatu sistem periodik unsur. Sistem periodik unsur merupakan suatu tabel yang berisi daftar semua unsur yang sudah dikenal atau diketahui keberadaannya. Pada tabel sistem periodik unsur, tercantum 118 macam unsur. Unsur-unsur tersebut berada dalam keadaan bebas ataupun senyawanya di alam bahkan juga unsur-unsur yang hanya ada di laboratorium saja.

Setiap kolom dalam sistem periodik unsur diberi istilah golongan. Dalam setiap golongan hanya terdapat satu golongan unsur. Dalam satu golongan, unsur-unsur akan disusun sesuai dengan kenaikan nomor massa. Unsur-unsur golongan utama diberi tambahan simbol A di belakang nomor golongannya, misalnya IA, IIA, IIIA, dan seterusnya.

³ *Ibid*, Neil A. Campbell dan Jane B. Reece. *Biologi*, 32-36

⁴ Yayan Sunarya, *Kimia Dasar*. Jilid I. (Bandung: Penerbit CV. Krama Widya, 2000). 32

**TABEL PERIODIK
UNSUR KIMIA**

Nomor atom **KUNCI** Massa atom (A)
 Lambang unsur **Zn** Nomor atom (Z)
 Nomor periode (P) 30 65,38
 (30) 30 65,38
 30 65,38 30
 30 65,38 30
 30 65,38 30

Nomor atom :
 * IUPAC - IUPAC & IUPAC, London
 * Unsur-unsur

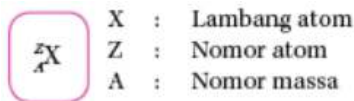
DAFTAR BAHASA

(1) Hidrogen - gas
 (2) Helium - gas
 (3) Litium - logam
 (4) Berilium - logam
 (5) Boron - non logam
 (6) Karbon - non logam
 (7) Nitrogen - non logam
 (8) Oksigen - non logam
 (9) Fluor - non logam
 (10) Neon - gas mulia
 (11) Natrium - logam
 (12) Magnesium - logam
 (13) Aluminium - logam
 (14) Silikon - non logam
 (15) Fosfor - non logam
 (16) Sulfur - non logam
 (17) Klorin - non logam
 (18) Argon - gas mulia
 (19) Kalium - logam
 (20) Kalsium - logam
 (21) Skandium - logam
 (22) Titanium - logam
 (23) Vanadium - logam
 (24) Kromium - logam
 (25) Mangan - logam
 (26) Besi - logam
 (27) Kobalt - logam
 (28) Nikel - logam
 (29) Tembaga - logam
 (30) Seng - logam
 (31) Gallium - logam
 (32) Germanium - non logam
 (33) Arsen - non logam
 (34) Selenium - non logam
 (35) Bromin - non logam
 (36) Krypton - gas mulia
 (37) Rubidium - logam
 (38) Strontium - logam
 (39) Yttrium - logam
 (40) Zirkon - logam
 (41) Niobium - logam
 (42) Molibdenum - logam
 (43) Technetium - logam
 (44) Rutenium - logam
 (45) Rhodium - logam
 (46) Paladium - logam
 (47) Perak - logam
 (48) Cadmium - logam
 (49) Indium - logam
 (50) Stannum - logam
 (51) Antimon - non logam
 (52) Tellurium - non logam
 (53) Iodin - non logam
 (54) Xenon - gas mulia
 (55) Cesium - logam
 (56) Barium - logam
 (57) Lantanum - logam
 (58) Hafnium - logam
 (59) Tantalum - logam
 (60) Wolfram - logam
 (61) Rhenium - logam
 (62) Osmium - logam
 (63) Iridium - logam
 (64) Platina - logam
 (65) Emas - logam
 (66) Mercury - logam
 (67) Thallium - logam
 (68) Timbal - logam
 (69) Bismut - non logam
 (70) Polonium - non logam
 (71) Astatin - non logam
 (72) Radium - logam
 (73) Actinium - logam
 (74) Thorium - logam
 (75) Protactinium - logam
 (76) Uranium - logam
 (77) Neptunium - logam
 (78) Plutonium - logam
 (79) Americium - logam
 (80) Curium - logam
 (81) Berkelium - logam
 (82) Californium - logam
 (83) Einsteinium - logam
 (84) Fermium - logam
 (85) Mendelevium - logam
 (86) Nobelium - logam
 (87) Lawrencium - logam

Gambar 1.2. Sistem Periodik Unsur

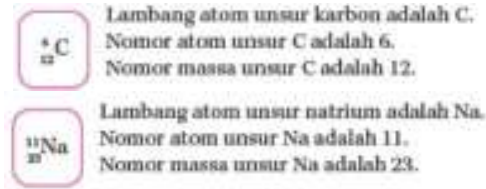
Beberapa golongan utama mendapatkan nama khusus. Unsur-unsur yang terdapat dalam golongan utama pertama (IA), seperti litium (Li) dan natrium (Na) disebut unsur-unsur golongan logam alkali (hidrogen bukan logam sehingga tidak termasuk logam alkali). Golongan utama kedua (IIA), seperti berilium (Be) dan magnesium (Mg) dikenal sebagai unsur-unsur logam alkali tanah. Unsur-unsur yang termasuk golongan utama ketujuh (VIIA), seperti fluor (F) dan klor (Cl) disebut unsur-unsur golongan halogen. Unsur-unsur yang terdapat dalam golongan utama ke delapan (VIIIA), seperti helium (He) dan neon (Ne) dikenal sebagai unsur golongan gas mulia.

Dalam sistem periodik unsur, setiap unsur ditulis dalam bentuk lambang unsur diikuti dengan identitas yang dimiliki unsur tersebut, yakni berupa nomor atom dan nomor massa. Berikut adalah cara penulisan lambang atom unsur:



1. Massa atom (A) didapatkan dari jumlah proton + jumlah neutron
2. Jumlah neutron didapatkan dari nomor massa – nomor atom
3. Nomor atom (Z) didapatkan dari jumlah proton
4. Jumlah elektron didapatkan dari jumlah proton (apabila atom bersifat netral atau tidak bermuatan).

Misalnya :



Setiap unsur memiliki simbol dari namanya yang biasanya diambil dari satu atau dua huruf pertama. Beberapa simbol berasal dari bahasa Latin atau Germany, misalnya, simbol unsur sodium adalah Na, dari kata Latin natrium.

1. Massa Atom

Atom pada unsur yang berbeda mempunyai massa yang bervariasi. Massa tersebut tergantung pada jumlah proton dan neutron yang terdapat di dalam intinya. Sebuah atom hidrogen memiliki satu proton dan tidak memiliki neutron, sehingga hanya memiliki massa atom satu. Semakin besar massa atom, semakin kecil atom tersebut.

2. Nomor Atom

Atom-atom dari zat yang berbeda memiliki jumlah proton yang berbeda pula di dalam intinya. Jumlah proton dalam inti dikenal dengan nomor atom. Manakala jumlah proton dalam inti atom berubah, maka akan terjadi perubahan pula pada atom tersebut dengan sifat berbeda dari sebelumnya.

3. Gaya Atom

Pengaruh gaya elektromagnetik menyebabkan elektron yang bermuatan negatif akan tetap berada pada orbit sekelilingnya. Dipihak lain gaya tarik inti, yang menjaga proton dan neutron agar tetap berada di dalam inti atom merupakan gaya yang paling kuat di alam semesta ini, gaya tarik inti ini jauh lebih kuat dibandingkan gaya elektromagnetik.

4. Bentuk Atom

Atom memiliki bentuk yang bervariasi, yang disebut dengan *Isotop*. Masing-masing memiliki jumlah proton dan elektron yang sama namun jumlah neutron yang berbeda. Keseluruhan isotop mempunyai nomor atom yang sama tetapi memiliki nomor massa berbeda.

Perlu diketahui bahwa semua isotop memiliki sifat fisik yang sama, namun sifat kimia yang berbeda. Sebagian besar atom dalam sebuah

unsur termasuk satu jenis unsur. Isotop merupakan suatu unsur tertentu yang mempunyai jumlah proton yang sama, namun terdapat juga atom dengan banyak neutron pada atom-atom lain dari unsur yang sama, sehingga memiliki massa yang lebih besar. Contoh: ketiga isotop karbon unsur, jumlah nomor atomnya 6, isotop yang paling terkenal ialah karbon - 12, $^{12}_6\text{C}$, yang menyusun hampir 99% karbon di alam.

Isotop radioaktif merupakan isotop yang memiliki sifat meluruh secara spontan dalam melepaskan partikel dan energi. Misalnya, karbon radioaktif akan meluruh dan mengalami perubahan menjadi nitrogen. Isotop radioaktif memiliki banyak manfaat di antaranya adalah dalam melakukan pengukuran radio aktivitas pada fosil tanaman atau hewan untuk menentukan umur kehidupan masa lalu serta sebagai perunut untuk mengikuti atom melalui metabolisme, yakni proses kimia dalam suatu makhluk hidup.

C. Unsur

Unsur merupakan zat tunggal yang tidak dapat dipecahkan lagi menjadi zat lain yang lebih sederhana melalui reaksi kimia. Menurut Neil A. Campbell unsur adalah zat tunggal yang tidak dapat diuraikan lagi menjadi zat lain oleh reaksi kimiawi. Contohnya: unsur hidrogen dan oksigen (jenis gas tersebut tidak dapat diuraikan lagi menjadi zat yang lebih sederhana), sebaliknya H_2O dapat diuraikan oleh listrik menjadi dua jenis gas yakni gas hidrogen dan oksigen.

Unsur adalah zat yang tidak dapat dipecah lagi menjadi zat lain oleh reaksi kimia. Saat ini ahli kimia telah mengenali 92 unsur yang ada di alam. Contohnya emas, tembaga, karbon dan oksigen.⁵

Saat ini ahli kimia telah mengenali 118 unsur di antaranya 92 unsur yang terdapat di alam, seperti: emas, tembaga, karbon dan oksigen dan 26 unsur yang termasuk buatan, yang terdiri atas unsur logam maupun bukan logam. Pada umumnya unsur-unsur yang terdapat di alam tidak dalam keadaan bebas, melainkan bersenyawa menyusun suatu materi yang disebut dengan molekul. Contohnya, unsur karbon dan hidrogen dapat bergabung membentuk minyak bumi, karbon dan kalsium.

⁵ *Op.cit*, Neil A. Campbell dan Jane B. Reece. Biologi, 37

Menurut Philip Kuchel dan Gregory B. Ralston unsur alam yang terdapat pada tubuh manusia adalah sebagai berikut:⁶

Tabel 1.1
Unsur Alam yang Terdapat Pada Tubuh Manusia

No	Nama Unsur	Jumlah
1.	Oksigen (O)	65,0
2.	Karbon (C)	18,5
3.	Hidrogen (H)	93,5
4.	Niteogen (N)	3,3
5.	Kalsium (Ca)	1,5
6.	Fosfor (P)	1,0
7.	Sulfur (S)	0,9
8.	Potasium (K)	1,3
9.	Sodium (S)	0,2
10.	Magnesium (Mg)	0,2

Menurut Saeful Karim terdapat 2 (dua) sifat logam unsur antara lain:

1. Dalam satu golongan sifat logam unsur bertambah dari atas ke bawah. Dari atas ke bawah energi ionisasi unsur berkurang sehingga makin mudah melepas elektron, demikian juga nilai afinitas elektron makin berkurang sehingga makin sulit bagi unsur untuk menangkap elektron.
2. Dalam suatu periode sifat logam berkurang dari kiri ke kanan, sehingga makin mudah bagi unsur untuk menarik elektron. Akibatnya sifat non logam makin bertambah. Kecenderungan ini tidak berlaku bagi unsur-unsur transisi.⁷

Unsur dapat digolongkan ke dalam unsur logam, nonlogam, dan semilogam atau metaloid. Terdapat beberapa unsur yang memiliki sifat semilogam atau metaloid karena unsur tersebut memiliki sifat antara logam dan nonlogam yang sering digunakan sebagai semikonduktor. Contohnya adalah silikon, boron, germanium, arsen dan stibium (antimon).

Tabel 1.2
Perbandingan Unsur Logam dan Nonlogam

No.	Logam	Nonlogam
1	Pada suhu kamar berwujud padat,	Pada suhu kamar berwujud cair, gas

⁶ Philip Kuchel, dan Gregory B. Ralston. *Biokimia*. (Jakarta: Penerbit Erlangga, 2006).
98

⁷ *Op.cit.* Saeful Karim. *Belajar IPA*, 13-14

No.	Logam	Nonlogam
	kecuali Hg	dan atau padat
2.	Dapat menghantarkan arus listrik	Tidak dapat menghantarkan arus listrik, kecuali karbon
3.	Dapat ditempa (<i>malleable</i>) dan diregangkan (<i>ductile</i>)	tidak dapat ditempa, sifatnya rapuh
4.	Jika digosok nampak mengkilap	Tidak mengkilap
5.	Dapat menghantarkan panas (konduktor)	Tidak dapat menghantarkan panas (isolator)
6.	Mempunyai titik didih dan titik leleh	Memiliki titik didih dan titik leleh rendah

Kereaktifan suatu unsur sangat berkaitan dengan sifat-sifat logamnya. Unsur-unsur logam pada sistem periode unsur makin ke bawah makin reaktif (makin mudah bereaksi) hal ini disebabkan unsur tersebut makin mudah melepaskan elektron atau sebaliknya, unsur-unsur yang tidak termasuk logam makin kebawah makin kurang reaktif (makin sulit bereaksi) karena semakin sukar menangkap elektron. Dengan demikian, unsur logam yang paling reaktif adalah golongan IA (Logam Alkali) dan unsur non logam yang paling reaktif adalah golongan VII A (Halogen).

D. Lambang Unsur

Untuk mempermudah dan menyederhanakan nama unsur, para ahli kimia memberikan lambang unsur. Lambang unsur yang digunakan hingga sekarang ini merupakan hasil pemikiran Jons Jacob Berzelius. Dalam aturannya menyatakan bahwa setiap unsur dilambangkan dengan satu huruf dari huruf awal nama latinnya yang dituliskan dengan huruf kapital.

Tabel 1.3
Cara Penulisan Lambang Unsur

Nama unsur		Lambang/symbol unsur
Indonesia	Latin	
Karbon	Carbonium	C
Hidrogen	Hyrogenium	H
Oksigen	Oksygenium	O
Nitrogen	Nitrogenium	N
Belerang	Sulfur	S

Jika huruf awal dari nama latinnya sama, maka diberi huruf lain dengan cara menambahkan huruf ke dua yang dituliskan dengan huruf kecil.

Tabel 1.4
Cara Penulisan Lambang Unsur

Indonesia	Nama unsur Latin	Lambang/symbol unsur
Karbon	Carbonium	C
Kalsium	Calsium	Ca
Kadnium	Cadnium	Cd
Kobalt	Cobalt	Co
Klorin	Chlorine	Cl
Tembaga	Cuprum	Cu
Kromium	Chromium	Cr
Hidrogen	Hydeogenium	H
Helium	Helium	He
Raksa	Hydrargyrum	Hg
Belerang	Sulfur	S
Silikon	Silikon	Si
Flourin	Flourine	F
Besi	Ferrum	Fe

E. Lambang Senyawa atau Rumus Kimia

Untuk lebih mempermudah mengenali dan menentukan nama senyawa, maka senyawa pun harus diberi lambang, seperti halnya dengan unsur. Dalam ilmu kimia lambang untuk senyawa disebut rumus kimia. Berikut adalah beberapa rumus kimia atau lambang senyawa.

Tabel 1.5
Nama Senyawa, Rumus dan Komposisi Kimia

Nama Senyawa	Rumus Kimia	Komposisi
Sukrosa	$C_{11}H_{22}O_{11}$	11 atom C, 22 atom H, 11 atom O
Glukosa	$C_6H_{12}O_6$	6 atom C, 12 atom H, 6 atom O
Urea	$CO(NH_2)_2$	1 atom C, 4 atom H, 1 atom O, 2 atom N
Air	H_2O	2 atom H, 1 atom O
Asetilena (gas karbit)	C_2H_2	2 atom C, 2 atom H
Asam sulfat	C_2SO_4	2 atom C, 1 atom S, 4 atom O
Natrium klorida	NaCl	1 atom Na, 1 atom Cl

Rumus kimia: **nAxByCz**

Keterangan:

- n : Koefisien (menunjukkan jumlah molekul).
 A,B,C : Lambang atom unsur penyusun molekul senyawa.
 x,y,z : Indeks tiap atom unsur penyusun (menunjukkan jumlah atom unsur dalam setiap molekul).

Contoh

- | | | | | |
|--------------------|---|--------------------|---------------------|--------------------|
| 1. $2C_6H_{12}O_6$ | 2 molekul
glukosa
disusun
oleh | 12 atom
karbon | 24 atom
hidrogen | 12 atom
oksigen |
| 2. $3H_2SO_4$ | 3 molekul
asam sulfat
disusun
oleh | 6 atom
hidrogen | 3 atom
sulfur | 12 atom
oksigen |

F. Molekul dan Larutan

Definisi molekul, ion, larutan dan aplikasi ikatan kimia yang saling berkaitan adalah:

1. Molekul adalah kolaborasi atau gabungan dari beberapa atom atau yang sudah berikatan. Suatu molekul memiliki elektronegativitas yang relatif sama.
2. Ion terdiri dari kumpulan dua atom yang mempunyai perbedaan yang mencolok dalam hal daya tarik berbagai elektron dalam menarik atom yang lain.
3. Larutan adalah campuran yang bersifat homogen dari dua zat atau lebih yang saling melarutkan sehingga tidak dapat dibedakan lagi secara fisik. Larutan terdiri atas zat terlarut dan zat pelarut.
4. Ikatan kimia adalah elektron komplit dalam orbitnya yang mempunyai kecenderungan untuk melengkapi dengan cara menempatkan atau memberikan elektronnya kepada atom yang lain.

Berdasarkan daya hantar listriknya atau daya ionisasinya, larutan dibedakan menjadi dua macam, yakni larutan elektrolit dan non elektrolit.

1. Larutan elektrolit

Larutan elektrolit adalah larutan yang memiliki kemampuan menghantar arus listrik, karena keseluruhan zat terlarunya berubah menjadi ion-ion atau alpha-1.

Beberapa larutan yang termasuk larutan elektrolit kuat adalah:

- a. Asam-asam kuat, seperti HCl , HClO_3 , H_2SO_4 , HNO_3 dan sebagainya.
- b. Basa-basa kuat, seperti NaOH , KOH , $\text{Ca}(\text{OH})_2$, $\text{Ba}(\text{OH})_2$ terutama basa-basa golongan alkali dan alkali tanah.
- c. Garam-garam yang mudah larut, seperti NaCl .

2. Larutan non elektrolit

Larutan non elektrolit adalah larutan yang tidak mempunyai kemampuan menghantar arus listrik. Karena zat terlarutnya tidak dapat menghasilkan ion-ion atau tidak mengion.

Larutan non elektrolit yang tergolong elektrolit lemah adalah:

- a. Asam-asam lemah, seperti CH_3COOH , HCN , H_2CO_3 , H_2S dan sebagainya.
- b. Basa-basa lemah, seperti NH_4OH .
- c. Garam-garam yang sukar larut, seperti: AgCl , CaCrO_4 , PbI_2 dan sebagainya.

G. Air Sebagai Salah Satu Unsur Kehidupan

Air merupakan senyawa kimia yang merupakan hasil ikatan dari unsur hydrogen (H_2) dengan unsur oksigen (O) sehingga membentuk senyawa H_2O . Air merupakan senyawa kimia yang sangat penting bagi seluruh aktivitas kehidupan organisme. Air sebagai kebutuhan pokok dalam berbagai aktivitas manusia, selain untuk memenuhi kebutuhan sehari-hari, air juga diperlukan bagi kehidupan proses kehidupan yang lain. Pemanfaatan air yang utama dan sangat vital bagi kehidupan adalah sebagai air minum.

Air merupakan komponen utama dalam sistem kehidupan yang sangat vital. Pembentukan sel pada makhluk hidup, merupakan hasil dari interaksi yang dinamis dan rumit, antara berbagai jenis sel, setelah melewati berbagai proses. Kandungan zat protoplasma hampir 99% terdiri atas air yang merupakan zat pembentuk sel. Sebab air merupakan unsur penting dalam pembentukan sel-sel hidup dalam tubuh manusia. Air juga merupakan medium yang bisa mengaktifkan enzim dan protein. Dalam proses pencernaan makanan keberadaan air juga sangat penting, dengan merubahnya menjadi zat-zat yang lunak.

Peranan air dalam proses perubahan zat makanan yang terjadi di dalam tubuh manusia, adalah berikut ini:

1. Air dapat mengubah zat karbohidrat menjadi zat gula yang mudah dicerna melalui enzim. Selanjutnya terbentuk glukosa sebagai unsur penting bagi sel tubuh untuk menghasilkan energi yang dibutuhkannya.
2. Air memiliki peranan penting dalam proses perubahan zat protein menjadi asam amonia yang mempunyai struktur lebih sederhana sehingga lebih mudah dicerna oleh tubuh.
3. Air juga merupakan unsur utama pada proses perubahan karbohidrat menjadi protein atau sebaliknya.
4. Air juga termasuk unsur penting dalam pembentukan hormon dan enzim dan berbagai zat yang dikeluarkan dari tubuh.

Pada tumbuh-tumbuhan, air termasuk unsur penting dalam pada proses asimilasi klorofil (zat hijau daun). Melalui akarnya, tumbuh-tumbuhan menyerap air yang ada di dalam tanah, untuk didistribusikan ke seluruh bagian tumbuh-tumbuhan, baik pada batang, ranting, daun, bunga dan sebagainya. Daun merupakan pusat penyediaan makanan, karena di daun terdapat klorofil sebagai dapur pembuatan makanan bagi tumbuh-tumbuhan (autotrof). Dengan bantuan cahaya matahari yang diserap oleh daun dan karbondioksida yang diserap oleh pori-porinya dari udara, maka proses asimilasi klorofil berlangsung sempurna dan melepaskan energi yang dibutuhkan bagi organisme yang lain.

Dalam tubuh manusia, air juga merupakan unsur penting dalam menjaga keseimbangan suhu sel-sel hidup. Air yang keluar dalam tubuh berfungsi untuk menurunkan dan menyeimbangkan suhu. Sebaliknya, jika tubuh kekurangan cairan, maka hal itu pun mengakibatkan gangguan pada proses pertumbuhan tubuh, sehingga tubuh mengalami difusi pada sebagian sel dan organnya. Menurut Prawirohartono, dalam sistem kehidupan, air mempunyai 3 (tiga) fungsi, yakni: air sebagai pelarut, air sebagai pengatur pH, dan air sebagai pengatur temperatur tubuh.⁸

⁸ Slamet Prawirohartono. *Sains Biologi*. Edisi Pertama (Jakarta: Penerbit Erlangga, 2000). 39

H. Karbon Sebagai Bahan Dasar Senyawa Organik Penyusun Kehidupan

Atom karbon sebagai bahan dasar senyawa organik mempunyai 4 (empat) ikatan kovalen, dimana rantai karbon merupakan molekul organik yang bersifat kompleks yang terdapat dalam organisme. Pada dasarnya suatu molekul organik ditentukan oleh susunan atom karbon dan gugus fungsional yang terkandung di dalamnya. Fungsi suatu molekul sangat berkaitan dengan struktur molekul itu sendiri. Menurut J.B. Harborne variasi atau keanekaragaman dari suatu molekul merupakan dasar dari keanekaragaman hayati.⁹

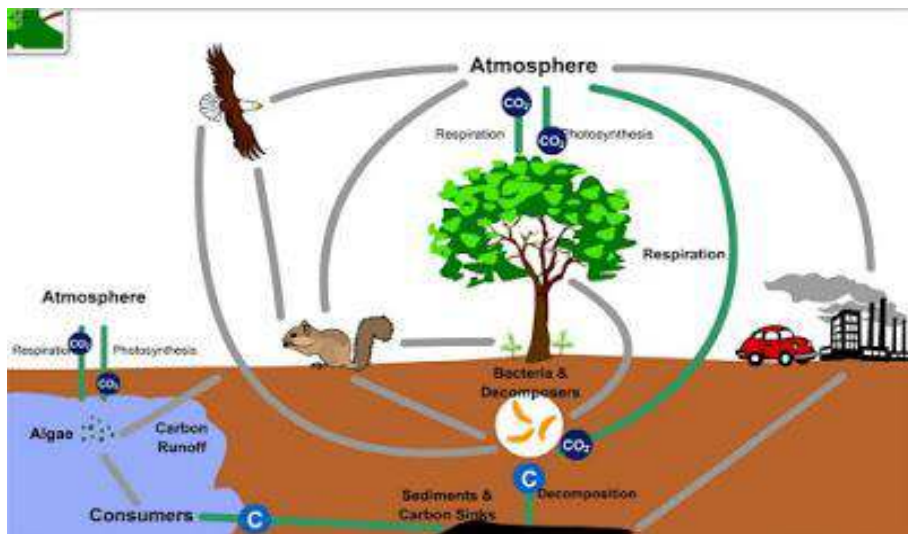
Di antara seluruh unsur kimia, unsur karbon memiliki kemampuan yang mengagumkan dalam membentuk molekul-molekul yang besar, kompleks, dan beranekaragam. Keanekaragaman molekuler tersebut memungkinkan terbentuknya keanekaragaman organisme yang telah berevolusi selama jutaan tahun di bumi. Bahan-bahan lain dari senyawa ini adalah Hidrogen (H), oksigen (O), nitrogen (N), sulfur (S), dan fosfor (P) merupakan, tetapi unsur karbonlah (C) yang mendasari keanekaragaman luar biasa molekul biologis.

Unsur karbon memiliki 6 elektron, 2 elektron pada kulit pertama dan 4 pada kulit kedua. Karena memiliki 4 elektron valensi pada suatu kulit yang bisa menampung 8 elektron harus menyumbangkan atau menerima 4 elektron untuk melengkapi kulit valensinya dan menjadi ion. Sebagai gantinya, atom karbon biasanya melengkapi kulit valensinya dengan cara menggunakan 4 elektronnya bersama dengan atom-atom lain dalam ikatan kovalen sehingga terdapat 8 elektron.

Menurut Neil A. Campbell dan Jane B. Reece, ketika atom karbon membentuk 4 ikatan kovalen tunggal, susunan keempat orbital hibridnya menyebabkan ikatan-ikatan tersebut membentuk sudut pada keempat pojokan atau tetrahedron khayalan. Sudut ikatan dalam metana (CH₄) adalah 109,5 derajat dan sudut ini kurang lebih sama pada kelompok atom apapun ketika karbon yang memiliki 4 ikatan tunggal.¹⁰ Berikut adalah penjelasan dari siklus karbon.

⁹ J.B. Harborne. *Metode Fitokimia*. (Bandung: Institut Teknologi Bandung Press, 1997). 271

¹⁰ *Op.cit.* Neil A. Campbell dan Jane B. Reece. *Biologi*, 60



Gambar 1.4. Siklus Karbon di Alam

1. Respirasi

Respirasi adalah sebuah reaksi pembakaran yang terjadi pada seluruh organisme. Dalam proses ini membutuhkan senyawa karbon kompleks, yakni glukosa yang merupakan hasil proses fotosintesis. Kelompok organisme heterotrof (hewan dan manusia) mendapatkan asupan karbon kompleks dari organisme lain dalam hal ini tumbuh-tumbuhan. Dengan demikian terjadi aliran materi dari satu organisme ke organisme lain. Dalam proses respirasi ini akan menghasilkan senyawa karbon dalam bentuk karbondioksida yang dilepaskan ke atmosfer. Melalui reaksi respirasi, aliran senyawa karbon akan dikembalikan lagi untuk proses fotosintesis tumbuh-tumbuhan.

2. Fotosintesis

Berbeda halnya dengan respirasi, proses fotosintesis hanya dilakukan oleh organisme yang memiliki zat hijau daun atau klorofil, yakni tumbuhan-tumbuhan termasuk golongan alga. Reaksi fotosintesis membutuhkan senyawa karbon (CO_2) di atmosfer untuk menyusun senyawa karbon yang lebih kompleks, (glukosa) yang merupakan sumber energi semua organisme. Perlu diingat bahwa senyawa karbon di atmosfer berasal dari berbagai proses respirasi atau penguraian dan proses pembakaran.

I. Senyawa-Senyawa Karbohidrat, Protein, Lipid/Lemak dan Asam Nukleat

Terdapat 4 (empat) makromolekul utama yang dijumpai pada sistem kehidupan, yaitu:

1. Karbohidrat

Karbohidrat berasal dari kata karbon dan air. Karbohidrat atau polimer gula merupakan senyawa karbon yang mengandung sejumlah besar gugus hidroksil. Karbohidrat adalah makromolekul yang terdiri dari Monoskarida, Disakarida dan Polisakarida. Karbohidrat paling sederhana adalah monosakarida, sehingga disebut gula sederhana.

a. Fungsi karbohidrat

Karbohidrat atau sakarida mempunyai dua fungsi, yaitu sebagai sumber bahan bakar (energi) dan sebagai bahan penyusunan struktur selatan. Contoh karbohidrat, yang tergolong dalam kelompok pertama adalah glukosa, pati dan glikogen, dan pada kelompok kedua adalah selulosa, kitin, dan pectin.

b. Klasifikasi dan Tatanama

Karbohidrat adalah polihidroksi aldehida atau polihidroksi keton, yang mempunyai rumus molekul umum, yakni $(\text{CH}_2\text{O})_n$, yang pertama lebih dikenal sebagai golongan aldosa yang kedua adalah ketosa. Dari umum dapat diketahui karbohidrat ialah suatu polimer. Senyawa yang menyusunnya adalah monomer-monomer. Dari jumlah monomer yang menyusun polimer itu, maka karbohidrat digolongkan menjadi monoskarida, disakarida, trisakarida dan seterusnya sampai polisakarida.¹¹

1) Monoskarida

Istilah monosakarida (*monosaccharide*) berasal dari kata Yunani, yakni monos bermakna tunggal dan sacchar berarti gula. Monosakarida umumnya memiliki rumus molekul yang merupakan kelipatan unit CH_2O . Glukosa ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$), monosakarida yang paling umum, memiliki posisi sentral dalam kimia kehidupan. Monosakarida, terutama glukosa, merupakan nutrisi utama bagi sel. Dalam proses yang dikenal sebagai respirasi seluler, sel mengekstraksi energi dalam serangkaian reaksi yang diawali dengan

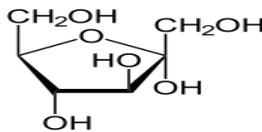
¹¹ Soeharsono Maroharsono. *Biokimia I*. (Yogyakarta: Gadjah Mada University Press, 2012). 24

molekul glukosa. Molekul gula yang tidak sering digunakan untuk tujuan itu umumnya digabungkan ke dalam disakarida atau polisakarida sebagai monomer.

Monoskarida adalah molekul yang berfungsi sebagai penyediaan energi dalam sel tetapi juga sebagai bahan mentah pada sintesis molekul kecil seperti asam amino dan asam lemak. Monoskarida juga menjadi kunci penting dalam pusat transformasi energi untuk kehidupan. Monoskarida membentuk polisakarida untuk disimpan dalam bentuk cadangan makanan.

Monoskarida yang umum terdapat dalam alam ialah yang atom C-nya berkisar antara 3 sampai 7. Dengan jumlah atom C sebagai pokok maka monoskarida ini terbagi menjadi golongan aldosa dengan nama aldo-triosa, aldo-tetrosa, aldo-pentosa dan seterusnya bilamana jumlah atom C dalam senyawa berturut-turut adalah sebanyak tiga, empat, lima dan seterusnya. Golongan monoskarida yang kedua adalah ketosa dengan nama-nama berawalan keto. Masing-masing senyawa dalam masing-masing golongan di atas merupakan anggota deret sepencarannya.¹²

Di bawah ini digambarkan anggota deret rangkaian fruktosa sebagai berikut:

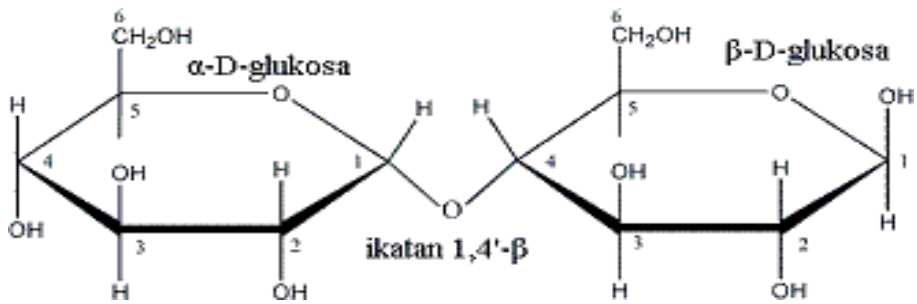


Gambar. 1.5. Fruktosa salah satu jenis monosakarida

b) Disakarida

Disakarida adalah molekul yang dibentuk dari dua gabungan monoskarida oleh tautan glikosidik (*glycosidic linkage*), melalui reaksi dehidrasi (pelepasan satu molekul air dalam reaksi kondensasi). Senyawa yang mempunyai dua satuan sakarida yang paling umum ialah maltose, selobiosa, laktosa dan sukrosa dengan rumus bangun sebagai berikut:

¹² *Op.cit.* Philip Kuchel dan Gregory B. Ralston. *Biokimia*, 14

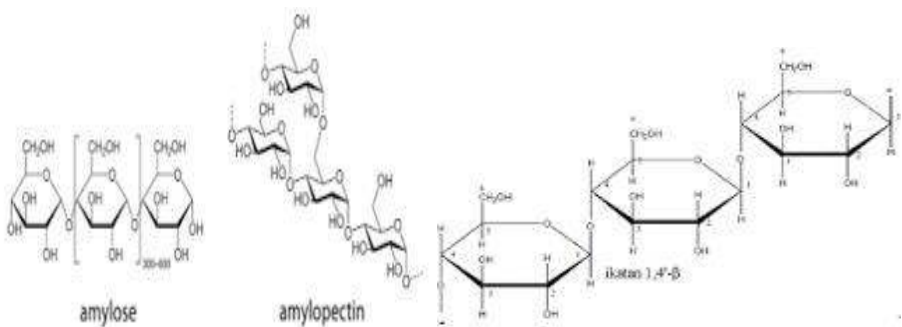


Gambar 1.6. Struktur Maltosa salah satu jenis disakarida

Pada umumnya disakarida dihasilkan dari hidrolisis amilum atau pati yang terdiri atas dua satuan monosakarida, yaitu glukosa dan glukosa.

c) Polisakarida

Polisakarida adalah molekul yang dibentuk dari ratusan atau ribuan monosakarida yang digabungkan oleh tautan glikosidik dengan cara sintesis dehidrasi. Senyawa ini banyak mengandung satuan-satuan monosakarida yang saling mengikat melalui oksigen. Contohnya ialah pati atau amilum dan glikogen. Pati atau amilum jenis karbohidrat cadangan yang terdapat pada tanaman, sedangkan glikogen dijumpai pada hewan. Amilum terdiri atas dua fraksi yakni amilosa (fraksinya bercabang) dan amilopektin (fraksinya bercabang). Berikut ini adalah gambar perbedaan amilosa dan amilopektin:



Gambar 1.7. Struktur Maltosa salah satu jenis disakarida

2. Protein

Protein adalah senyawa makromolekul yang tersusun atas atom C (karbon), H (hidrogen), O (oksigen), N (nitrogen) dan S (belerang). Protein termasuk senyawa organik kompleks yang berbobot molekul besar terdiri atas asam amino yang dihubungkan dengan ikatan peptide. Menurut Philip Kuchel, protein berperan penting dalam pembentukan struktur, fungsi, regulasi sel-sel makhluk hidup dan virus. Protein juga bekerja sebagai neurotransmitter dan pembawa oksigen dalam darah (hemoglobin). Protein juga berguna sebagai sumber energi tubuh.¹³

Terdapat paling tidak 5 (lima) fungsi protein di antaranya ialah sebagai biokatalisator (enzim), protein cadangan, biomol pentranspor bahan, struktur dan protektif. Namun pada umumnya protein dikenal sebagai bagian dari makanan yang digunakan sebagai pengganti jaringan sel. Protein yang diisolasi dari sel hidup memiliki jumlah yang cukup banyak (ratusan) dan seluruhnya mengandung unsur-unsur C, H, N, O dan S. Namun beberapa protein mengandung P, Fe, Zn dan Cu.

Manakala protein dihidrolisis dengan bantuan asam maka hasilnya adalah asam amino, yang jumlahnya tergantung dari panjang rantai, berat molekul dan lain-lain. Terdapat 20 jenis asam amino yang umum terdapat dalam alam, delapan hingga sepuluh di antaranya termasuk dalam asam amino esensial. Asam-asam tersebut harus ada dalam pangan hewan tingkat tinggi dan cukup untuk dapat mendukung pertumbuhannya. Jadi, asam amino adalah satuan penyusun protein.

Sebagian besar molekul protein menurut J.B. Harborne menampakkan aktivitas biologiknya pada kisaran pH dan suhu tertentu. Pada pH dan suhu yang tinggi maka protein globular mengalami perubahan fisik yang disebut denaturasi. Indikatornya adalah kelarutannya yang menurun. Pembentukan gumpalan pada bagian telur yang putih merupakan salah satu contoh proses denaturasi.¹⁴

3. Lipida

Lipida merupakan salah satu makromolekul yang tidak larut dalam air. Lipida sulit tercampur dengan air, bahkan tidak mungkin terjadi percampuran, sehingga lipid termasuk pada golongan senyawa hidrokarbon alifatik nonpolar dan hidrofobik. Fungsi biologis terpenting lipid di antaranya untuk menyimpan

¹³ *Ibid.* Philip Kuchel dan Gregory B. Ralston. *Biokimia.....*, 17

¹⁴ *Op.cit.* J.B. Harborne. *Metode Fitokimia*, 55

energi, sebagai komponen struktural membran sel, dan sebagai pensinyalan molekul.

Lipid diperoleh dari proses dehidrogenasi endotermal rangkaian hidrokarbon. Lipid bersifat amfifilik, artinya lipid mampu membentuk struktur seperti vesikel, liposom atau membran lain dalam lingkungan basah. Meskipun istilah lipid kadang-kadang digunakan sebagai sinonim dari lemak. Lipid juga meliputi molekul-molekul seperti asam lemak dan turunan-turunannya termasuk monogliserida, digliserida, poligliserida dan fosfolipid, juga metabolit yang mengandung sterol, seperti kolesterol.

4. Asam Nukleat

Asam nukleat adalah makromolekul yang terdapat sebagai polimer yang disebut polinukleotida (*polynucleotide*). Setiap polinukleotida terdiri atas monomer-monomer yang dikenal sebagai nukleotida dan setiap nukleotida tersusun atas basa bernitrogen, gula berkarbon lima, dan gugus fosfat. Asam nukleat mempunyai unit untuk memproduksi dirinya sendiri dan membawa kode untuk mengatur seluruh aktivitas sel. Terdapat 2 tipe asam nukleat yaitu asam dioksiribonukleat (ADN) atau (*deoxyribonucleic acid*, DNA) yang berkaitan dengan sifat-sifat keturunan dan mengendalikan semua bagian metabolisme sel, dan asam ribonukleat (ARN) atau (*ribonucleic acid*, RNA), yang berfungsi untuk menerjemahkan translasi informasi genetik. DNA merupakan satu-satunya molekul yang menyediakan arahan untuk replikasi dirinya sendiri. DNA juga mengarahkan sintesis RNA dan melalui RNA mengontrol sintesis protein.

Asam nukleat terdiri atas atom C, H, O dan P, yang mengandung jenis gula, yakni *ribose*, *nitrogen* dan *fosfat*. Asam nukleat memiliki fungsi sebagai penyimpan sifat-sifat keturunan, penyimpanan energi dan beberapa di antaranya bekerja sebagai ko-enzim. Berdasarkan fungsinya, asam nukleat dibagi menjadi 4 kelompok, yakni:

- a. Sebagai komponen materi genetik (DNA dan RNA).
- b. Sebagai energi kimia (ATP, GTP, UTP).
- c. Sebagai kofaktor (NAD, FAD, Koenzim A).
- d. Sebagai komponen regulator (Camp, cGMP).

BAB II

FUNGSI DAN STRUKTUR SEL

A. Uraian

Konsep tentang sel dari tahun ke tahun mengalami perkembangan yang cukup signifikan. Hal ini disebabkan penemuan demi penemuan dari perkembangan alat mikroskop yang lebih modern. Mikroskop yang telah ditemukan oleh para ilmuwan sangat membantu dalam perkembangan konsep-konsep biologi terutama dalam melakukan pengamatan tentang sel hewan maupun sel tumbuhan. Dalam ilmu biologi, sel merupakan unit fungsional dan penyusun terkecil dari organisme dan terdiri dari kumpulan materi paling sederhana. Seluruh aktivitas kehidupan dan sebagian besar reaksi kimia pada makhluk hidup terjadi di dalam sel. Makhluk hidup tersusun atas sel tunggal atau disebut organisme uniseluler dan multiseluler yang terdiri dari banyak sel.

Biologi sel cabang ilmu biologi yang mengalami perkembangan konsep yang sangat pesat terutama di negara-negara maju dan banyak sekali perannya dalam memberikan solusi berbagai masalah dalam biologi terapan, seperti bidang kedokteran, pertanian, peternakan, perikanan, bioteknologi dan sebagainya. Penelitian tentang penyakit kanker, bayi tabung dan rekayasa genetika banyak melibatkan cabang ilmu ini.

Biologi molekuler dan sel adalah ilmu-ilmu yang mempelajari semua proses kehidupan di dalam sel pada tingkat molekuler. Untuk melakukan hal tersebut, harus memanfaatkan konsep atau teori dari sejumlah disiplin ilmu lainnya, seperti biokimia, sitologi, genetika, mikrobiologi, embriologi, dan evolusi.

B. Sejarah dan Pengertian Sel

Pada tahun 1665, ilmuwan biologi yang pertama kali memperkenalkan sel dalam bukunya yang berjudul *Micrographia* adalah Robert Hook. Robert Hook berkebangsaan Inggris mengamati sayatan gabus di bawah mikroskop menyebutkan adanya pori atau sel yang diamati di bawah mikroskop, sebuah

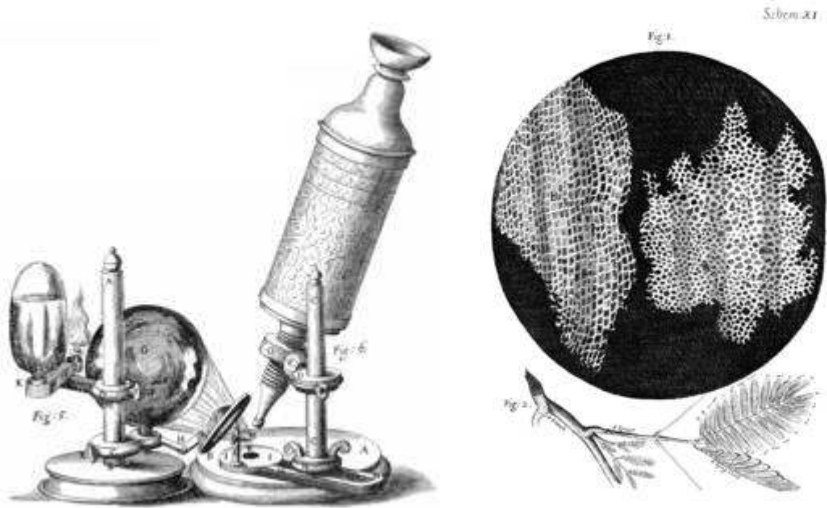
mikroskop yang sangat sederhana hasil dari karyanya sendiri, dengan daya pembesarnya hanya sampai 30 kali, maka Robert Hook menemukan adanya pori pada bagian-bagian tumbuhan tersebut yang selanjutnya disebut "cella" [ruangan kecil atau ruangan kosong]. Dinamakan sel karena terdapat penampakan yang berupa ruang-ruang kecil yang jumlahnya cukup banyak, ruang-ruang tersebut dalam bahasa Latin dinamakan *cell* yang maknanya pori-pori.

Secara terpisah pada tahun 1674, seorang ahli biologi lain berkebangsaan Belanda, yakni *Antonie Van Leeuwenhoek*, menciptakan mikroskop yang sederhana pula, yang digunakan untuk mengamati mikroba atau jasad renik yang hidup di air serta bagian-bagian yang mungkin terdapat pada suatu cairan tubuh makhluk. Berkat penemuannya tersebut maka *Antonie Van Leeuwenhoek* dikenal sebagai Bapak Mikrobiologi. Pada tahun 1824 *H. J. Dutrochet* menemukan bahwa semua hewan dan tumbuhan terdiri atas sel yang berbentuk gelembung-gelembung yang mempunyai ukuran sangat kecil. Kemudian pada tahun 1839 dua orang ahli biologi yang bernama *T. Schwann* dan *M. Schleiden* akhirnya merumuskan teori sel yang berbunyi: "Sel merupakan unit dasar kehidupan. Dengan demikian, semua tumbuhan dan hewan disusun atas sel-sel". Berdasarkan hasil temuan *H. J. Dutrochet* dan *T. Schwann* dan *M. Schleiden*, maka R. Virchow pada tahun 1859 membuat kesimpulan bahwa sel ternyata berasal dari sel sebelumnya, yang populer dikenal dengan istilah "*Omnis Cellula e Cellula*". Selanjutnya pada tahun 1970 dua orang ilmuwan yang bernama *E. Strasburger* dan *W. Flemming* membuktikan bahwa inti sel memelihara kelangsungan hidup suatu jenis makhluk dari satu generasi ke generasi berikutnya.

Untuk mempelajari dan mendalami sel pada makhluk hidup, maka lahirlah cabang biologi yakni biologi sel. Biologi sel adalah cabang baru ilmu biologi yang berkembang dalam dekade mutakhir. Ini adalah perluasan ilmu sitologi yang sudah dikenal sejak awal abad ini. Ilmu ini tumbuh sejak digunakannya mikroskop elektron dalam teknik mikroskop elektron dalam teknik mikroskop awal tahun 1960.

Walaupun sel ditemukan oleh Robert Hooke pada tahun 1665, persebaran sel sebagian besar belum dipetakan hingga beberapa dasawarsa lalu. Sebagian besar struktur subseluler atau organel, terlalu kecil untuk diuraikan oleh mikroskop cahaya. Biologi sel telah mengalami kemajuan pesat pada tahun 1950-an dengan pengenalan mikroskop elektron. Daya urai dihubungkan terbalik dengan panjang gelombang radiasi yang digunakan mikroskop, dan berkas elektron memiliki panjang gelombang yang jauh lebih

pendek dari panjang- gelombang cahaya tampak. Mikroskop elektron modern secara teoretis dapat mencapai resolusi (penguraian) kira-kira 0,1 nanometer (nm).¹⁵



Gambar 2.1. Mikroskop dan bentuk sel gabus hasil pengamatan Roobert Hooke

Dalam perkembangannya para ilmuwan biologi memandang alat mikroskop semakin penting peranannya dalam mempelajari dan mengamati sel secara lebih mendalam dan lebih luas, maka lahirlah mikroskop elektron, mikroskop elektron ini mampu mengamati sel secara ultrastruktur, sehingga bagian-bagian sel yang terkandung di dalamnya dapat diamati atau diketahui.

Sel merupakan kesatuan atau unit dasar struktural dan fungsional dari makhluk hidup. Sebagai kesatuan struktural berarti makhluk hidup terdiri atas sel-sel. Makhluk hidup yang terdiri atas satu sel disebut makhluk hidup bersel tunggal atau uniseluler (monoseluler), sedangkan organisme yang terdiri atas banyak sel disebut multiseluler. Makna sel sebagai unit fungsional artinya bahwa seluruh fungsi kehidupan atau aktivitas makhluk hidup terjadi dan berlangsung di dalam tubuh yang dilakukan oleh sel. Fungsi kehidupan yang dimaksud meliputi metabolisme, respirasi, fotosintesis, reproduksi, iritabilitas, digestivus, ekskresi, sekresi, sistem syaraf dan sebagainya pada makhluk hidup. Jadi, seluruh fungsi kehidupan pada makhluk hidup berlangsung, dikendalikan, diatur di dalam sel.

¹⁵ Neil A. Campbell dan Jane B. Recce. *Biologi*. Edisi Kedelapan. Jilid 1 (Jakarta: Penerbit Erlangga, 2008). 113

Untuk menjalankan fungsi vitalnya, maka sel dapat memperoleh energi dari luar. Semua reaksi kimiawi dan fisika yang terjadi di dalam sel untuk mendukung fungsinya disebut metabolisme. Reaksi metabolik memerlukan enzim. Enzim adalah molekul protein yang dapat mempercepat terjadinya reaksi biokimiawi tanpa diubah secara permanen ataupun dikonsumsi dalam proses tersebut. Struktur tiap enzim dikodekan oleh suatu segmen asam deoksiribonucleat (*deoxyribonucleic acid*) yang disebut gen.

C. Struktur dan Fungsi Sel

Ultrastruktur merupakan struktur yang dapat diamati dan dilihat kenampakannya dengan menggunakan mikroskop elektron. Dengan mengamati sel secara teliti melalui ultrastruktur nampaklah berbagai organ sel yang terdapat di dalamnya.

Secara struktural, terdapat dua jenis sel, yaitu sel prokariotik dan eukariotik. Sel prokariotik umumnya berukuran lebih kecil dan memiliki struktur lebih sederhana dari pada sel eukariotik, contohnya: bakteri dan archae. Perbedaan utama antara kedua jenis sel itu adalah bahwa materi genetik (DNA) sel prokariotik tidak terletak dalam suatu struktur membran ganda yang disebut nukleus. Pada sel eukariotik, seluruh materi genetiknya terletak di dalam molekul DNA, yang terdapat sebagai kromosom. Kromosom adalah struktur linear yang terdapat di nukleus. Sel eukariotik juga mempunyai organel-organel bermembran lain di dalam sitoplasmanya. Sel eukariotik juga mempunyai mitokondria, yang mengandung enzim dan mekanisme untuk respirasi aerob dan fosforilasi oksidatif.¹⁶

Sel merupakan mikrokosmos pada makhluk hidup pada tingkat selular yang timbul dari keteraturan struktur dan fungsi. Misalnya, gerakan sel hewan bergantung pada interaksi yang rumit antara struktur-struktur yang menyusun rangka secular (serat-serat berwarna pada mikrograf).¹⁷

Semua sel memiliki beberapa kesamaan yang dibatasi oleh pelindung selektif, yang dikenal sebagai membrane plasma. Membran ini menyelubungi organel, materi-materi dan zat semi cair, disebut sitosol (*cytosol*). Semua sel mengandung kromosom pembawa informasi genetik dalam bentuk DNA.

¹⁶ William D. Stansfield. *Biologi Molekuler dan Sel*. (Jakarta: Penerbit Erlangga, 2006). 1-2

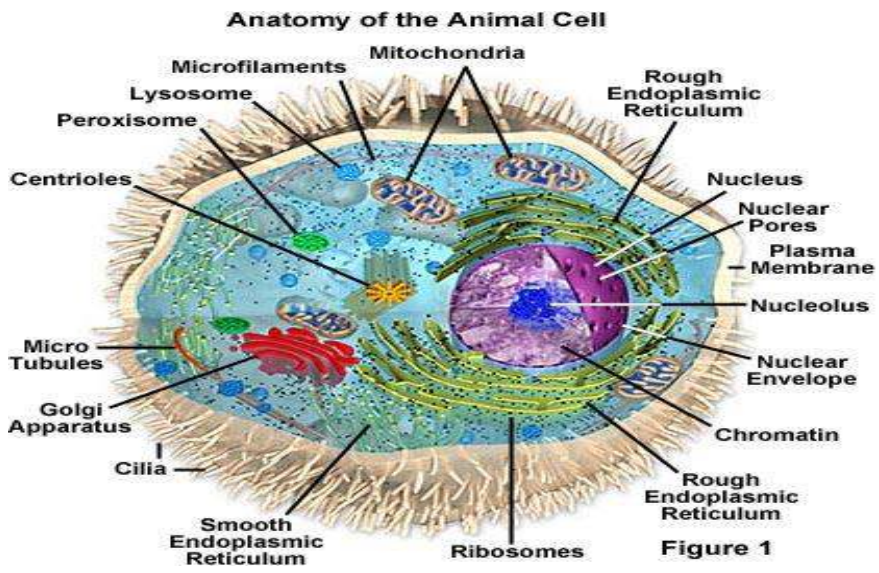
¹⁷ *Op.cit.* Neil A. Campbell dan Jane B. Recce. *Biologi*, 102

Perbedaan utama antara sel prokariot dan sel eukariot adalah lokasi DNA-nya. Sel eukariot (*eukaryotic cell*), mengandung sebagian besar DNA berada dalam organel yang disebut *nucleus*, yang dibatasi oleh membran ganda. Pada sel prokariot (*prokaryotic cell*) DNA terkonsentrasi pada bagian yang tidak dilindungi oleh membran yang disebut nukleoid.

Cairan pada sel prokariot disebut sitoplasma (*cytoplasm*), sitoplasma umumnya untuk menyebut wilayah di antara nukleus dan membran plasma pada sel eukariot. Pada sitoplasma sel eukariot, terdapat berbagai macam organel dengan bentuk dan fungsi yang berbeda-beda, yang tersuspensi dalam sitosol. Struktur yang dibatasi membran ini tidak ditemukan pada sel prokariot.

Ukuran merupakan aspek yang umum dari struktur sel yang berhubungan dengan fungsinya. Sel eukariot umumnya memiliki ukuran lebih besar dibandingkan dengan sel prokariot. Cadangan material pada proses metabolisme selular sangat menentukan ukuran suatu sel. Ukuran sel terkecil adalah bakteri yang disebut mikoplasma, dengan diameter antara 0,1 dan 1,0 μm .

Berikut akan diuraikan satu persatu berbagai organela-organela sel seperti: membran plasma, retikulum endoplasma, ribosom, alat golgi, lisosom, mitokondria, plastid, sentriol, sitoskelet, peroksisom, inti. Secara umum gambaran tentang organela sel dapat diperhatikan pada gambar di bawah ini:

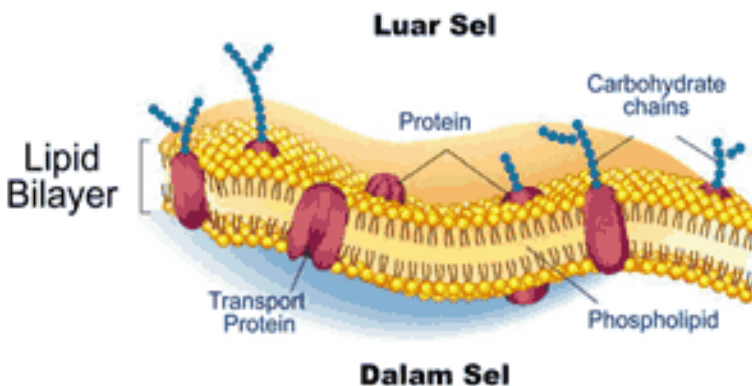


Gambar 2.2. Sebuah sel dengan organ-organ sel

1. Membran Plasma

Membran plasma adalah bagian terluar yang membatasi bagian dalam sel dengan lingkungan luar. Membran sel bersifat selektif permeabel, artinya hanya dapat dilalui oleh molekul-molekul tertentu saja seperti glukosa, asam amino, gliserol, dan berbagai jenis ion lainnya.

Fungsi membran plasma di antaranya adalah: melindungi komposisi sel, mengatur keluar masuk berbagai zat, dan sebagai reseptor rangsangan dari luar sel. Membran plasma tersusun oleh lapisan protein dan lapisan lipid (lipoprotein). Lapisan protein membran sel tersusun atas glikoprotein. Sedangkan lapisan lipid disusun oleh fosfolipid, glikolipid, dan sterol. Lapisan protein terdiri dari 2 lapisan yakni lapisan perifer dan lapisan integral. Perhatikan struktur membran plasma berikut:



Gambar 2.3. Membran Plasma

Membran plasma bukan seperti lembaran molekul yang statis, kaku, namun bersifat elastis dan lentur. Membran ditahan bersama terutama oleh interaksi hidrofobik, yang jauh lebih lemah dari ikatan kovalen. Kebanyakan lipid dan sebagian protein dapat berpindah secara random atau acak dalam bidang membrannya. Namun, jarang sekali terjadi pertukaran tempat molekul yang melintasi bidang membrannya, bahkan tidak pernah terjadi lompatan molekul dari satu lapisan fosfolipid ke lapisan yang lainnya.

Membran sel mempunyai fungsi-fungsi sebagai berikut:

- Sebagai reseptor (penerima) rangsang dari luar seperti hormon dan bahan kimia lain, baik dari lingkungan luar maupun dari bagian lain dalam organisme itu sendiri.
- Melindungi agar isi sel tidak keluar meninggalkan sel.

- c. Mengontrol zat-zat yang boleh masuk maupun keluar meninggalkan sel.
- d. Sebagai tempat terjadinya kegiatan biokimiaseperti reaksi oksidasi dan respirasi.¹⁸

Membran sel terdiri atas dua lapisan, yaitu lapisan dalam dan luar. Lapisan dalam tersusun dari lipid rangkap dua, sedangkan lapisan luar berupa lapisan protein. Membran plasma mudah dilalui oleh molekul air dan tergantung dari perbedaan konsentrasi. Gerakan molekul pada membran plasma meliputi difusi, osmosis, transpor aktif, endositosis dan eksitosis. Berikut ini diuraikan gerakan-gerakan molekul pada organela sel tersebut:

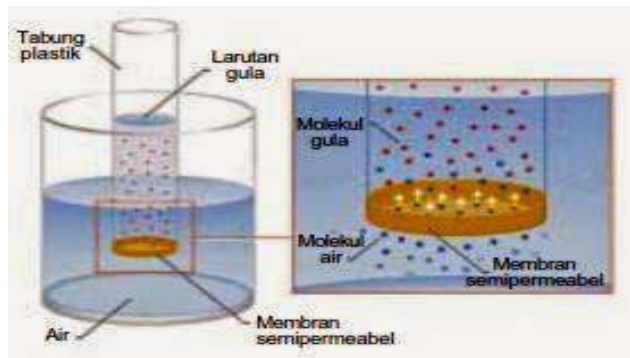
a. Difusi

Difusi adalah peristiwa perpindahan molekul-molekul larutan dari konsentrasi tinggi ke larutan yang berkonsentrasi lebih rendah melalui membran plasma. Gerakan molekul dan ion yang terlarut dalam air terjadi secara acak dan konstan. Gerakan acak molekul inilah yang menyebabkan terjadi difusi. Proses difusi dibagi menjadi dua yaitu difusi sederhana dan difusi terbantu. Terjadinya difusi terbantu karena perantaraan protein pembawa. Peristiwa difusi umum terjadi pada sel dan tanpa membutuhkan energi. Proses difusi dapat terjadi bagi oksigen, CO₂, air, elektrolit dan bahan organik molekul sederhana.

b. Osmosis

Osmosis ialah peristiwa perpindahan molekul yang terjadi dalam sel dari larutan yang berkonsentrasi rendah (hipotonis) ke larutan yang berkonsentrasi tinggi (hipertonis) melalui selaput semipermeabel. Apabila konsentrasi larutan dalam sel tinggi, maka air akan masuk sel dan akan terjadi endosmosis. Apabila larutan lebih tinggi, air masuk sel dan terjadi eksosmosis. Eksosmosis menyebabkan pengaturan sel yang disebut plasmolisis, yaitu terlepasnya membran sel dari dinding sel.

¹⁸ *Ibid.* Neil A. Campbell dan Jane B. Reece. *Biologi*, 6-7



Gambar 2.4. Peristiwa Osmosis

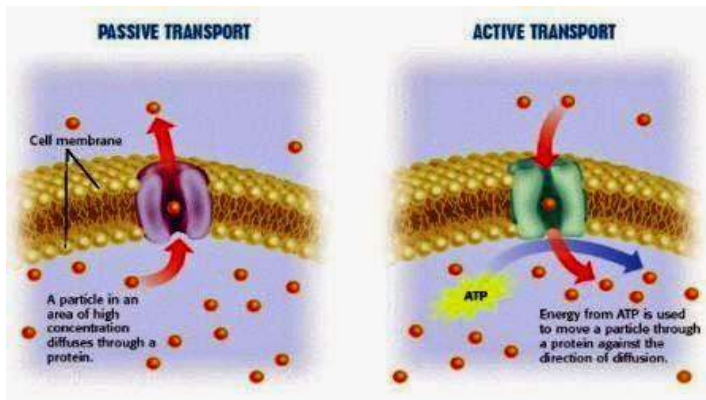
Apabila sel mempunyai konsentrasi zat terlarut lebih tinggi (sedikit air atau hipertonik) daripada di luar sel, maka air yang berada di luar sel masuk ke dalam lingkungan sel. Peristiwa masuknya air ke dalam sel menyebabkan dinding sel pecah. Pecahnya sel pada sel hewan dikenal dengan hemolisis. Pada sel tumbuhan, sel akan mengembang karena ditahan oleh dinding sel.

Sebaliknya, jika sel memiliki konsentrasi zat terlarut lebih rendah (banyak air) daripada di luar sel, maka air yang ada di dalam sel akan keluar sel. Keluarnya air dari sel menyebabkan sel mengerut. Pada sel hewan, mengerutnya sel ini disebut krenasi, sedangkan pada sel tumbuhan disebut plasmolisis.

c. Transpor Aktif

Peristiwa transpor aktif terjadi melalui selaput plasma yang menggunakan energi untuk mengeluarkan dan memasukkan ion atau molekul. Perpindahan molekul dengan cara ini disebut aktif, karena membutuhkan energi dalam bentuk ATP. Sumber energi pada peristiwa transpor aktif berupa Adenosin triposfat atau ATP.

Harus diingat bahwa transpor aktif sangat dipengaruhi adanya muatan listrik yang terdapat di dalam sel dan muatan listrik juga tergantung pada konsentrasi ion natrium, kalium, dan klor. Transport aktif terjadi karena perpindahan atau pergerakan molekul atau ion dari konsentrasi rendah ke konsentrasi tinggi. Peristiwa transport aktif pada umumnya melawan gradient konsentrasi suatu zat. Jadi melawan proses alamiah, dan hanya dimiliki oleh sel hidup. Pergerakan zat pada sel melalui transport aktif dikenal dengan peristiwa absorpsi. Gambar di bawah ini adalah peristiwa transpor aktif dan pasif.



Gambar 2.5. Peristiwa Transport Aktif

Menurut Wildan Yatim molekul gula dan asam amino diangkut secara aktif ke dalam sel menggunakan energi. Energi ini diperoleh dari gradien konsentrasi Na^+ yang terjadi pada pengangkutan natrium-kalium. Dengan bantuan suatu protein transpor khusus, molekul glukosa dan ion natrium masuk ke dalam sel bersama-sama. Kemudian, natrium tersebut dikeluarkan lagi oleh pompa natrium-kalium. Dengan demikian, pompa natrium-kalium tidak hanya mengangkut secara aktif Na^+ dan K^+ , tetapi secara tidak langsung menyediakan energi untuk proses pengangkutan yang lain.¹⁹

d. Endositosis

Endositosis merupakan peristiwa perpindahan molekul atau zat yang memerlukan energi. Endositosis proses masuknya senyawa dengan pembungkusan senyawa dan cairan ekstra seluler dengan pelekukan ke dalam membran. Endositosis terjadi pada organisme uniseluler dan sel darah putih. Apabila yang masuk berupa senyawa padat disebut fagositosis, sedangkan jika berupa cairan disebut pinositosis.

e. Ekositosis

Ekositosis merupakan peristiwa pengeluaran atau sekresi molekul biologis yang berada di dalam sel menuju lingkungan luar sel dengan membran plasma. Sekret terbungkus kantong membran yang selanjutnya melebar dan pecah.

¹⁹ Wildan Yatim. *Biologi Sel*. (Bandung: Peneerbit Tarsito, 2012). 208-209

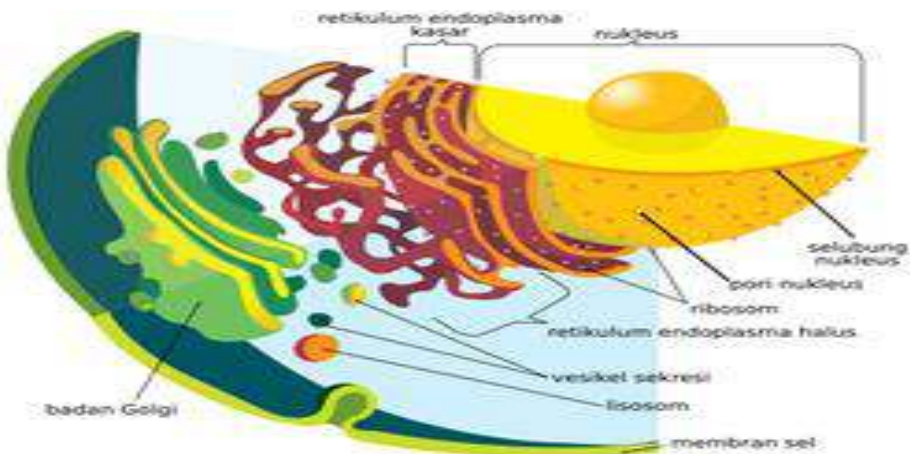
2. Retikulum Endoplasmik (RE)

Retikulum endoplasma adalah jaringan yang tersusun oleh membran yang berbentuk seperti jala, yang terdiri dari dua tipe retikulum endoplasma yaitu RE kasar dan RE halus. RE kasar adalah RE yang mengandung ribosom nampak seperti bintil-bintil. RE halus adalah RE yang tidak ditemplei ribosom.

Organela retikulum endoplasma mempunyai beberapa fungsi antara lain:

- Mensintesis lemak dan kolesterol yang dilakukan oleh RE kasar dan RE halus.
- Tempat menyimpan protein yang disintesis oleh ribosom terutama pada RE kasar.
- Sebagai media pengangkutan molekul-molekul yang dilaksanakan RE kasar dan RE halus.
- Sebagai detoksifikasi, yakni menetralkan racun.

Menurut Subowo retikulum endoplasma halus berfungsi dalam beberapa proses metabolisme yaitu sintesis lipid, metabolisme karbohidrat dan konsentrasi kalsium, detoksifikasi obat-obatan, dan tempat melekatnya reseptor pada protein membran sel.²⁰



Gambar 2.6. Retikulum Endoplasmik

3. Badan Golgi

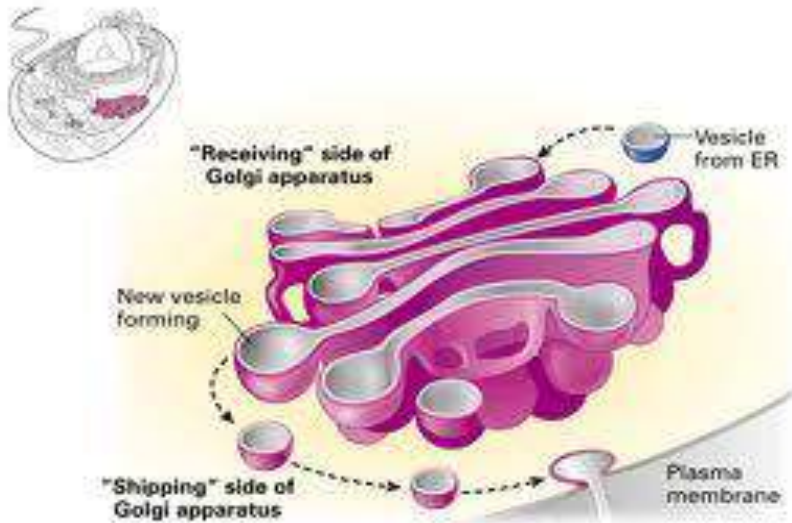
Badan golgi atau alat golgi berupa struktur seperti jala dalam sitoplasma sel saraf, tempat persenyawaan karbohidrat atau lemak dengan protein.

²⁰ Subowo. *Biologi Sel*. (Bandung: Penerbit Angkasa, 1995). 4

Badan golgi dikenal dengan “*the internal reticular apparatus* “. Melalui pewarnaan campuran antara osmium tetraoksida dan ribidium bikhormat, golgi nampak seperti jala, terletak dekat inti dan berwarna kecoklatan. Beberapa tahun terakhir ini ilmuwan sitologi mulai menggunakan pewarnaan untuk mempelajari badan golgi, bukan hanya pada sel saraf, namun juga pada sel jaringan lain.

Organela aparatus golgi atau badan golgi mempunyai fungsi sebagai berikut:

- a. Tempat sintesis polisakarida seperti mukus, selulosa, hemiselulosa, dan pektin.
- b. Membentuk membran plasma.
- c. Membentuk kantong sekresi untuk membungkus zat yang akan dikeluarkan sel.
- d. Membentuk akromosom pada sperma, kuning telur pada sel telur, dan lisosom.²¹



Gambar 2.7. Badan Golgi

Badan golgi terdiri dari 3 (tiga) komponen, yakni cisternae, vesikula dan vakuola. Berikut akan diuraikan ketiga komponen badan golgi.

²¹ Anna Poedjiadji. *Dasar-dasar Biokimia*. (Jakarta: Universitas Indonesia Press, 2007). 196-197

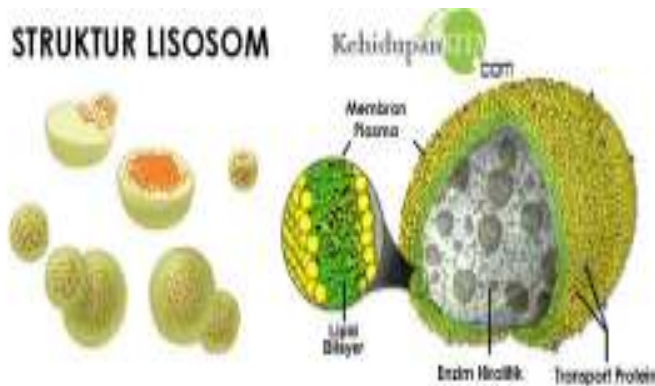
Cisternae terdiri dari atas 5 lempeng sejajar melengkung seperti bentuk piala. Tiap cisterna berupa kantung gepeng tertekuk dan bagian tepi tiap cistern menggebuang dan berlobabang-lobang. Di bagian tepi itulah terdapat pembuluh yang menghubungkan semua cisternae.

Bagian vesikula terdapat di bawah (sebelah kedalam sel) bagian dari cisternae, sedangkan bagian vakuola berada di atas (sebelah ke puncak sel). Kedua bagian ini: vesikula dan vakuola terdiri atas banyak gelembung. Isi setiap vasikula lebih terang dari pada isi vakuola. Isi vakuola sudah berupa bahan sekresi (getahan). Ada juga yang menyebut vesikula untuk vakuola).

4. Lisosom

Lisosom berasal dari kata lysis artinya merombak, mencerna, dan soma yang berarti badan/tubuh. Lisosom berupa kantung berisi enzim hidrolis yang aktif dalam medium ber pH asam. Bentuknya bulat, yang berdiameter antara 0,2-10 μm . Organela ini dijumpai pada sel hewan.

Lisosom merupakan katung terikat membran dari enzim hidrolitik yang digunakan oleh sel untuk mencerna makromolekul. Terdapat enzim liososom yang dapat menghidrolisis protein, polisakarida, lemak dan asam nukleat. Apabila lisosom pecah atau kantungnya bocor, aktivitas enzim berkurang dalam lingkungan sitosol yang netral. Akan tetapi, bocoran yang berlebihan dari sejumlah besar lisosom dapat merusak sel akibat pencernaan sendiri.²²



Gambar 2.8. Lisosom

²² *Op.cit.* Neil. A Campbell dan Jane B, Recce. Biologi, 124

Terdapat sekitar 80 macam enzim yang terkandung dalam organel ini, dan digolongkan atas 6 kelompok, yakni: protease; lipase; glukosidase; fosfatase; nuklease (ARNase dan ADNase), dan sulfatase.

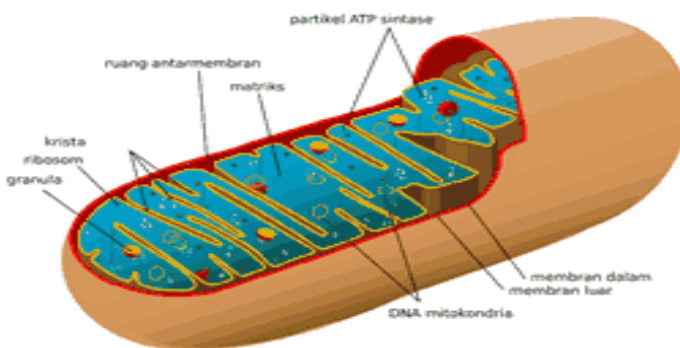
Lisosom yaitu organel yang berfungsi sebagai pembentuk enzim-enzim pencernaan dan sebagai penbentuk zat-zat kebal. Lisosom dijumpai pada sel hewan. Terdiri atas pencernaan, regenerasi, penyembuhan, remodeling dan resorpsi.

5. Mitokondria

Mitokondria terdapat pada sel tumbuhan dan hewan, namun jumlahnya yang berbeda-beda dari ratusan hingga ribuan mitokondria. Mitokondria berbentuk bulat panjang dengan berbagai ukuran, memiliki 2 membran, yaitu membran luar dan dalam. Membran dalam berbentuk lipatan-lipatan yang disebut krista, yang mengandung enzim oksidase. Bagian dalam mitokondria berupa zat yang kental, disebut matriks. Dalam mitokondria ini berlangsung peristiwa oksidasi zat-zat makanan yang menghasilkan energi.

Pada umumnya mitokondria berfungsi sebagai tempat respirasi selular atau sebagai pelaksanaan respirasi aerob sel. Terdiri atas penghasil ATP, metabolisme lemak, dan sintesa steroid, produksi panas.

Melalui pewarnaan dengan osmium tetraoksida memperlihatkan ternyata mitokondria diselaputi oleh membran ganda, masing-masing dengan tebal 6-7 nm. Antara kedua membran ada ruang intermembran dengan lebar 6-8 nm. Membran dalam mempunyai kelipatan ke dalam rongga yang dikenal sebagai matrix.

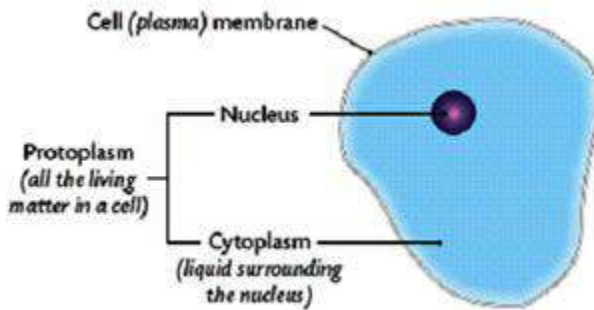


Gambar 2.9. Mitokondria

6. Sitoplasma

Sitoplasma berupa cairan yang terdapat dalam sel yang mengandung berbagai organela sel, antara lain: mitokondria, ribosom, lisosom, aparatus golgi, nukleus dan lain-lain. Zat-zat yang terlarut dalam sitoplasma antara lain protein, RNA, metabolit (berupa glukosa), elektrolit, dan beberapa sisa dari hasil aktivitas sel, seperti urea, kreatin, asam urat, enzim-enzim glikolisis (pengubahan glukosa menjadi asam piruvat dan laktat), serta enzim biosintesis asam lemak. Jadi, sitoplasma berfungsi sebagai tempat berlangsungnya reaksi metabolisme sel. Sementara itu, komponen-komponen utama penyusun organela sitoplasma adalah:

- a. Cairan seperti gel disebut sitosol.
- b. Substansi genetik simpanan dalam sitoplasma.
- c. Sitoskeleton yang berfungsi sebagai kerangka sel.
- d. Organel-organel sel.



Gambar 2.10. Sitoplasma

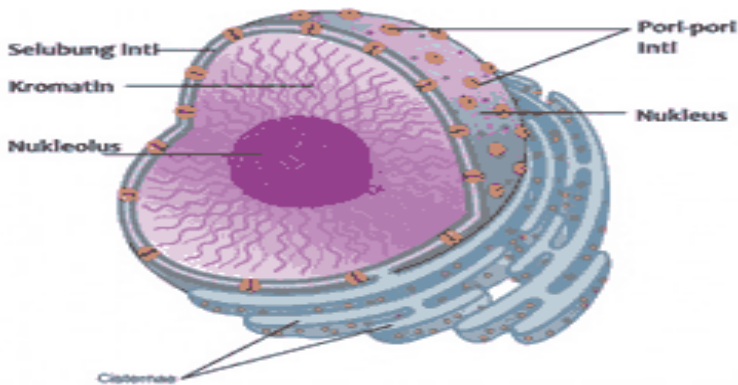
7. Inti Sel (Nukleus)

Inti sel merupakan pusat sel yang mengatur dan mengendalikan reaksi-reaksi yang terjadi dalam sel sekaligus sebagai tempat reproduksi sel. Inti sel umumnya berbentuk bulat dan posisinya di bagian tengah sel. Di dalam inti sel terdapat nukleoplasma (berupa cairan kental) dan nukleolus (bagian yang lebih padat dan tidak terbungkus oleh membran). Karena itu, inti sel berfungsi sebagai pengendali metabolisme sel dan pengatur proses pembelahan sel, warisan sifat.

Nukleus umumnya organel yang paling mencolok dalam sel eukariotok, berdiameter sekitar $5\mu\text{m}$. Selubung nukleus terdiri atas membran ganda.

Kedua membran melapisi lipid dengan protein yang terkait, dipisahkan oleh ruangan sekitar 20-40 nm. Selubung ini mempunyai beberapa pori-pori yang berdiameter 100 nm.

Struktur yang menonjol di dalam nukleus ketika tidak sedang membelah adalah nukleolus, yang merupakan tempat ribosom disintesis dan dirakit. Komponen-komponen ini kemudian dilewatkan melalui pori nukleus ke sitoplasma, kemudian semuanya bergabung untuk membentuk ribosom. Nukleus ini mengontrol sintesis protein dalam sitoplasma dengan mengirim mesenjer molekuler yang berbentuk RNA.²³



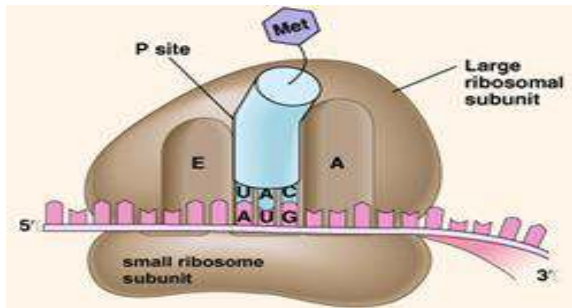
Gambar 2.11. Inti Sel (Nukleus)

8. Ribosom

Ribosom merupakan organel yang melakukan fungsi utamanya adalah mensintesis protein. Ribosom sering menempel satu sama lain membentuk rantai yang disebut polisom atau pololiribosom. Struktur ribosom berbentuk bulat yang terdiri atas dua partikel besar dan kecil, ada yang soliter juga ada yang melekat sepanjang retikulum endoplasmik.

Ribosom termasuk organel yang berukuran terkecil yang tersuspensi dalam sel dan masing-masing ribosom diikat oleh mRNA. Berdasarkan kecepatan sedimentasi ribosom dibedakan menjadi ribosom sub unit kecil (40s) dan ribosom sub unit besar (60s). Berikut gambar dari ribosom:

²³ *Ibid.* Neil. A Campbell dan Jane B. Recce. *Biologi*, 120

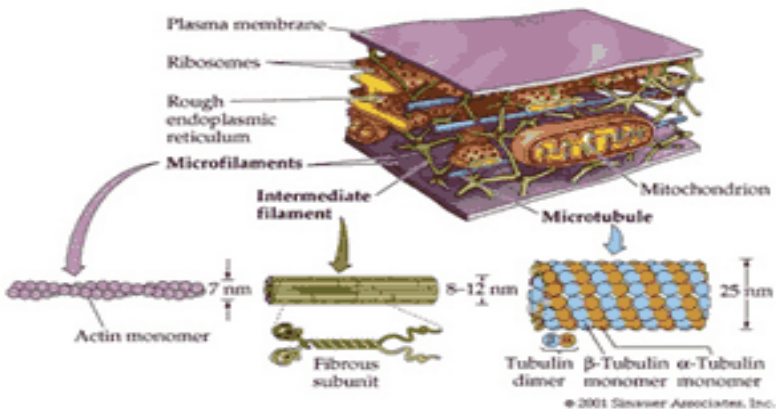


Gambar 2.12. Ribosom

9. Mikrotubulus (Badan Mikro)

Mikrotubulus atau badan mikro salah satu organela yang mempunyai fungsi sebagai pengendali/pengatur dalam pergerakan kromosom ketika sel sedang melakukan pembelahan. Mikrotubulus mempunyai dua jenis, yaitu peroksisom dan glioksisom.

Peroksisom sangat berperan dalam oksidasi substrat menghasilkan H_2O_2 kemudian dipecah menjadi H_2O dan O_2 . Selain itu, peroksisom juga berperan dalam pengubahan lemak menjadi karbohidrat dan penguraian purin dalam sel. Glioksisom berperan dalam metabolisme asam lemak dan sebagai tempat terjadinya siklus glioksilat. Berikut adalah gambar dari mikrotubulus atau badan mikro

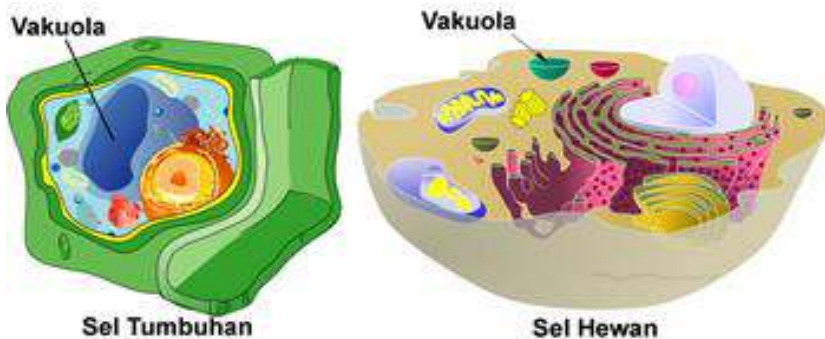


Gambar 2.13. Mikrotubulus

10. Vakuola

Vakuola atau rongga sel merupakan organela berupa cairan yang dibatasi oleh membran tonoplas. Tumbuhan yang masih muda memiliki sel dengan vakuola berukuran kecil. Pada tumbuhan dewasa sel hanya memiliki satu vakuola yang terletak ditengah dengan ukuran yang lebih besar. Jadi, vakuola atau rongga sel mempunyai beberapa fungsi sebagai berikut:

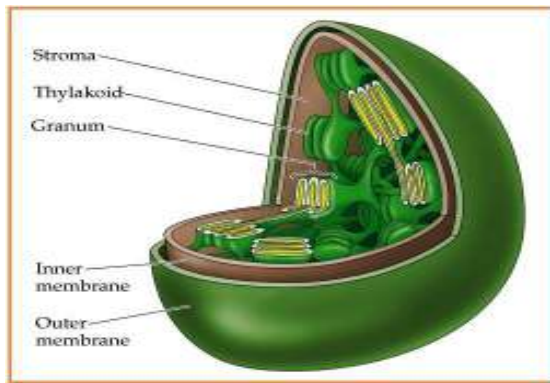
- Sebagai tempat menyimpan zat makanan seperti amilum dan gula.
- Sebagai tempat membangun turgiditas sel bersama dinding sel.
- Sebagai tempat menyimpan pigmen.
- Sebagai tempat menyimpan minyak atsiri seperti minyak kayu putih, peppermint, dan aroma harum pada bunga.
- Sebagai tempat penimbun sisa metabolisme sel, dan metabolit sekunder (seperti Ca-oksalat, tanin, getah karet, dan alkaloid). Berikut adalah gambar organela vakuola.



Gambar 2.14. Vakuola

11. Plastid

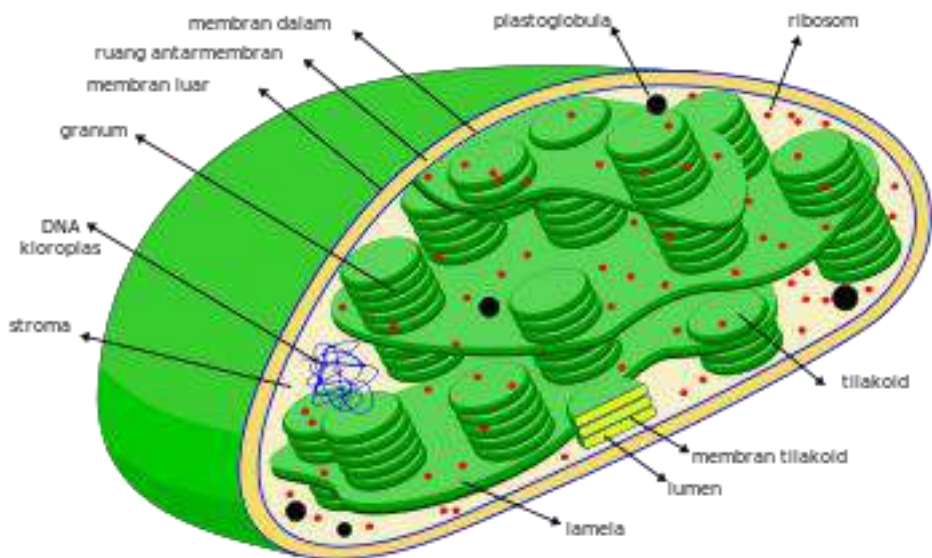
Plastid terutama terdapat pada tumbuh-tumbuhan. Plastida adalah organel sel yang menghasilkan warna pada sel tumbuhan karena mengandung pigment (zat warna). Terdapat tiga jenis plastida, antara lain: a) Leucoplast, yakni plastida yang berbentuk amilum; b) Kloroplast, yakni plastida yang umumnya berwarna hijau, yang terdiri atas klorofil a dan klorofil b, xantofil, dan karoten; c) Kromoplast, yakni plastida yang banyak mengandung karoten. Plastida yang paling dikenal adalah kloroplast, sebagai tempat berlangsungnya proses fotosintesis.



Gambar 2.15. Plastida

Kloroplas merupakan jenis plastida yang menghasilkan warna hijau daun yang disebut klorofil. Kloroplas mengandung klorofil, karotenoid dan pigmen fotosintesis lain. Klorofil dapat menghasilkan bermacam-macam warna seperti:

- a. Warna hijau biru.
- b. Warna hijau kekuningan.
- c. Warna hijau coklat.
- d. Warna hijau merah.



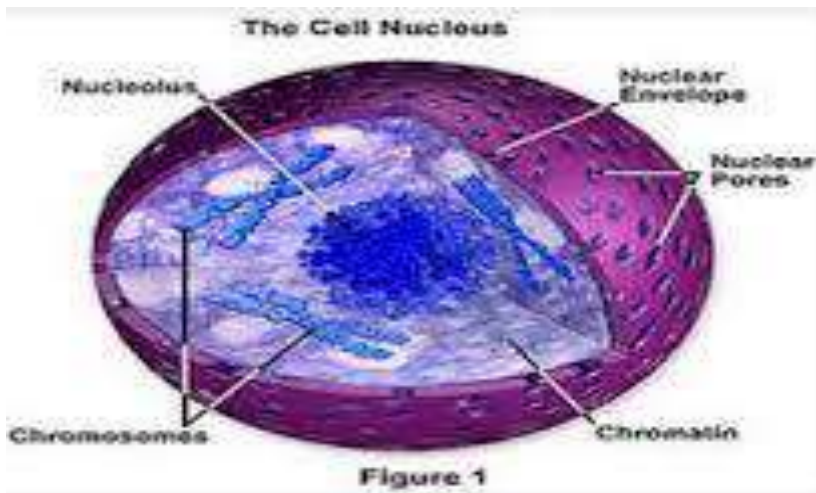
Gambar 2.16. Kloroplast

Kloroplas termasuk plastida yang mempunyai klorofil dan mengandung pigmen fotosintetik. Kloroplas terdiri atas membran luar dan dalam. Membran luar berfungsi media keluar masuknya zat atau substansi lainnya. Membran dalam membungkus dan melindungi cairan kloroplas (stroma). Membran dalam yang melipat ke arah dalam dan nampak seperti lembaran-lembaran (tilakoid). Tumpukan tilakoid membentuk grana.

Kloroplas memiliki banyak pigmen yang menjadikan buah dan bunga bercorak warna warni, seperti: warna jingga dan kuning. Kloroplas mengandung klorofil pigmen hijau bersama-sama dengan enzim dan molekul lain berfungsi menghasilkan makanan melalui proses fotosintesis.

12. Peroksisom

Peroksisom pencernaan zat tertentu, mengandung enzim proksidase untuk merombak peroksida yang meracun jadi H_2O dan O_2 . Disebut juga mikrobodi, artinya organel kecil dalam sel. Diameter bervariasi, rata-rata 400 nm. Organel yang berbentuk bundar atau lonjong dan terdapat dalam sitosol. Terdapat pada hewan dan tumbuhan, jumlahnya beratus-ratus dalam setiap sel. Terbanyak di jumpai dalam sel-sel tubulus ginjal dan hati. Mengandung enzim-enzim katalase dan oksidasi. Fungsi utamanya ialah menetralkan peroksida yang sangat besar daya reduktornya dalam sitosolnya, sehingga berbahaya bagi kehidupan sel, sehingga terbentuk air dan oksigen.



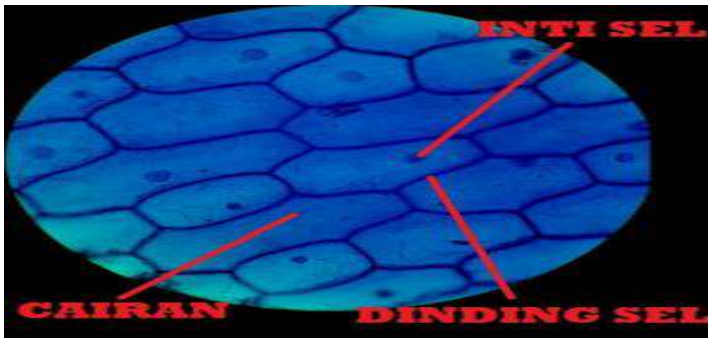
Gambar 2.17. Peroksisom

13. Inti

Inti (nukleus karyion), tempat kromatin dan nukleolus. Kromatin merupakan bahan genetis, nukleolus, produksi ribosom.

Inti adalah organel yang hadir berbentuk bulat di setiap sel eukariotik. Ini adalah pusat kendali sel eukariotik, bertanggung jawab untuk koordinasi gen dan ekspresi gen. Struktur inti meliputi membran nuklir, nukleoplasma, kromosom dan nukleolus.²⁴

Inti adalah organel yang paling menonjol dibandingkan dengan organel sel lainnya, yang menyumbang sekitar 10 persen dari volume sel. Secara umum, sel eukariotik hanya memiliki satu inti. Namun, beberapa sel eukariotik adalah sel enukleasi (tanpa inti), misalnya, sel-sel darah merah (eritrosit), padahal beberapa multinukleat (terdiri dari dua atau lebih inti), misalnya, jamur lendir.



Gambar 2.18. Inti Sel

Inti sel terdiri atas membran inti (lapisan inti), nukleoplasma, nukleolus dan kromosom. Nukleoplasma, juga dikenal sebagai karyoplasma, adalah matriks ada di dalam nukleus. Mari kita bahas secara singkat tentang beberapa bagian dari inti sel.

14. Membran inti

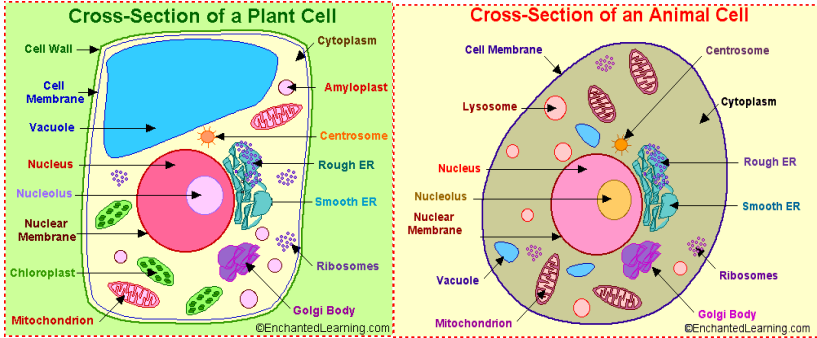
Membran inti adalah struktur berlapis ganda yang membungkus isi inti. Lapisan luar dari membran terhubung ke retikulum endoplasma.

Sebuah ruang berisi cairan atau ruang perinuklear hadir antara dua lapisan membran inti. Inti berkomunikasi dengan bagian lain dari sel atau sitoplasma melalui beberapa celah yang disebut pori-pori inti. Pori-pori inti adalah situs

²⁴ *Op.cit.* Widan Yatim. *Biologi Sel*, 19

untuk pertukaran molekul besar (protein dan RNA) antara inti dan sitoplasma.²⁵

Berikut ini disajikan tentang perbedaan organela sel antara yang terdapat pada sel tumbuhan dan hewan:



²⁵ *Ibid.* Wildan Yatim. *Biologi Sel*, 20

BAB III

SIFAT-SIFAT FISIK DAN KOMPOSISI KIMIA SEL

A. Uraian

Terdapat 3 (tiga) elemen penting sebagai penghasil energi yang sangat dibutuhkan oleh setiap manusia, yakni: karbohidrat, lemak dan protein. Komponen karbohidrat sebagai zat gizi yang tergolong kelompok zat-zat organik memiliki struktur molekul yang berbeda-beda, namun demikian terdapat persamaan-persamaan ditinjau dari aspek kimiawi dan fungsinya. Karbohidrat mempunyai peranan yang sangat penting dalam menentukan karakteristik bahan makanan, seperti cita rasa, karakter warna, tekstur fisik dan lain-lain.

Lemak termasuk kelompok ikatan organik yang terdiri atas unsur-unsur carbon (C), hidrogen (H) dan oksigen (O), yang memiliki ciri-ciri larut dalam zat-zat pelarut tertentu seperti *ether*. Lemak atau dikenal dengan asam heksanoat lebih banyak mengandung hidrogen terikat, namun tergolong senyawa karbon yang paling banyak tereduksi. Sedangkan karbohidrat (glukosa) dan protein (asam glutamate) kaya kandungan oksigen sedikit hidrogen terikat dan termasuk senyawa yang lebih teroksidasi.

Di dalam proses kehidupan sel, elemen protein terdapat sebagai protein struktural juga sebagai protein metabolik. Sebagai protein struktural merupakan bagian yang tak terpisahkan dari struktur sel dan tidak dapat diekstraksi tanpa menyebabkan disintegrasikan sel tersebut. Sedangkan sebagai protein metabolik dapat diekstraksi tanpa merusak integritas struktur sel itu sendiri.

Molekul protein mengandung unsur-unsur karbon, hidrogen dan oksigen serta unsur-unsur istimewa yakni nitrogen (N). Unsur nitrogen tidak terdapat di dalam molekul karbohidrat dan lemak. Selanjutnya susunan kimia sel terdiri dari 2 (dua) bahan, yakni bahan anorganik dan organik.

B. Bahan Anorganis

1. Air

Permulaan pembentukan makhluk hidup diperkirakan bermula dari air, bahkan pada penciptaan manusia terjadi ketika setetes air mani yang mengandung jutaan sel sperma yang hanya satu yang berhasil membuahi sel telur. Karena itu air merupakan unsur penting dalam kehidupan, seorang manusia dapat bertahan hidup lebih dari satu bulan tanpa makanan, akan tetapi manusia hanya dapat bertahan hidup beberapa hari saja tanpa air. Air ditemukan di dalam dan di luar sel serta turut bersirkulasi di dalam darah.

Konsentrasi air di dalam sel diperkirakan antara 60-80% mengandung air (H_2O). Jumlah tersebut sangat tergantung pada ekosistem atau habitat suatu organisme. Organisme yang hidup di habitat yang kering mempunyai kandungan air yang lebih sedikit dibandingkan dengan organisme yang hidup di ekosistem yang banyak mengandung air. Setiap organisme yang hidup di suatu daerah tertentu telah berhasil menyesuaikan diri dengan kondisi dan keadaan lingkungan.

Beberapa manfaat dan kegunaan dari air dalam kehidupan ini antara lain, sebagai:

- a. Pelarut bahan anorganis dan bahan organis seperti: glukosa, sukrosa, asam amino, asam lemak, dan berbagai macam vitamin.
- b. Bahan suspensi (bahan yang tak larut), yakni bahan organis bermolekul besar dan kompleks seperti: protein, lemak, glikogen dan organela sel berupa suspensi.
- c. Hidrolisa, dimana ion-ion H dan OH dari air bersenyawa dengan gugusan molekul bahan organis kompleks, sehingga menghasilkan susunan molekul yang lebih sederhana. Proses penguraian molekul organik kompleks disebut lysis.
- d. Absorpsi panas, hal ini sangat penting terutama hewan yang bersifat homoiterm (berdarah panas, suhu tubuh tetap), yakni hewan-hewan yang tidak bergantung pada suhu lingkungan, seperti: jenis aves dan mamalia. Ketika hewan melakukan gerakan yang sangat aktif atau terjadinya kenaikan suhu lingkungan akan menyebabkan radiasi dan konvensi panas, maka akan terjadi kenaikan suhu sel. Namun panas tersebut akan kembali diturunkan sehingga suhu tubuh tetap seperti semula.

- e. Pengangkut material atau zat-zat baik yang dibutuhkan oleh sel maupun hasil metabolisme. Media pengangkutnya berupa cairan tubuh, yang berada pada bagian interseluler, tetapi sebagian besar pada hewan bahan-bahan kebutuhan sel dan hasil metabolisme disalurkan dalam pembuluh khusus.
- f. Menghasilkan selaput air, dengan adanya selaput air ini, peristiwa difusi berlangsung melalui membran sel. Sel epitel bercilia dilengkapi dengan selaput lendir untuk melaksanakan fungsinya. Kulit hewan yang hidup di tempat kering memiliki selaput lendir yang berguna untuk menahan panas, mengurangi penguapan serta melakukan gerakan. Bagi hewan yang bernapas melalui kulit (seperti: katak atau cacing), kulit yang berselaput lendir berfungsi untuk memperlancar peristiwa difusi gas.
- g. Medium berbagai proses, air berperan sangat penting dalam berbagai proses fisik, kimia, maupun biologis. Sintesa protein asam amino berlangsung dalam medium air. Begitu pula proses pertumbuhan embrio berlangsung dalam air. Hewan darat seperti reptilia, aves dan mamalia pertumbuhan embrionya selalu dalam medium air.

2. Gas

Pada umumnya gas yang terdapat di dalam sel terdiri atas 4 (empat) jenis, yakni:

- a. Oksigen (O_2).
- b. Karbondioksida (CO_2).
- c. Nitrogen (N_2).
- d. Ammonia (NH_3).

Oksigen, gas ini masuk ke dalam sel melalui proses respirasi. Di udara bebas kadar oksigen sekitar 21%, di dalam air sekitar 0,5%. Zat oksigen berasal dari sisa-sisa proses sintesa karbohidrat yang terjadi pada tanaman atau tumbuhan hijau.

Karbondioksida, karbondioksida timbul akibat peristiwa oksidasi. Dalam tubuh hewan digunakan untuk membentuk ion CO_3^{-2} dan HCO_3^- . Di udara kadar karbondioksida sekitar 0,04%. Bagi tumbuhan gas ini sebagai bahan mentah bersama air untuk sintesa karbohidrat. Dari gas ini diperoleh unsur C dan O dalam molekul karbohidrat.

Gas nitrogen masuk ke dalam sel melalui proses respirasi. Unsur nitrogen baru dapat diikat oleh sel manakala dalam bentuk ikatan ion NO_3^- , meski

sebagian kecil organisme ada juga yang mempergunakan ion ammonium (NH_4^+).

Ammonia, gas amoniak berupa sisa metabolisme dari protein yang terjadi pada sel hewan. Gas amoniak dapat menjadi racun bagi sel, karena itu harus dikeluarkan atau dinetralkan untuk sementara waktu sebelum diekskresi. Namun ada sel yang mengubahnya menjadi ureum, asam urat, bahkan menjadi amonium hidroksil (NH_4OH). Bakteri tanah dapat mengubah derivat amonia ini menjadi nitrat lagi, sehingga dapat dipergunakan lagi oleh tumbuhan untuk mensintesa protein.

3. Garam Mineral

Secara umum garam mineral terdiri atas banyak unsur-unsur, seperti: C, H, O, P, K, I, N, S, Ca, Fe, Mg, Na, Cl, Cu, Mn, Zn, Mo. Ca, Mg, Na, K, P, S dan Cl. Membina antara 60-80% bahan kimia sel. Kadang ada juga unsur-unsur Al, Bo, Se, Cd, Cr dan Va dalam konsentrasi yang sangat sedikit.

Menurut Wildan Yatim unsur-unsur yang umum terdapat dalam sel ialah berbentuk ion kation dan anion. Ion kation berupa: Na^+ , K^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2} , Fe^{+2} dan anion seperti: CO_3^- , PO_4^{-3} , SO_4^{-2} , Cl^- .²⁶

C. Bahan Organik

1. Karbohidrat

Karbohidrat atau hidrat arang merupakan zat gizi yang mempunyai fungsi utama sebagai penghasil energi, setiap gram karbohidrat menghasilkan 4 kalori. Di negara-negara berkembang masyarakatnya mengkonsumsi karbohidrat sekitar 70-80% dari total kalori, bahkan pada masyarakat yang tergolong miskin bisa mencapai 90%. Berbeda di negara-negara maju masyarakatnya mengkonsumsi karbohidrat lebih rendah sekitar 40-60%. Hal ini disebabkan sumber bahan makanan yang mengandung karbohidrat harganya lebih murah dibandingkan dengan sumber bahan makanan yang kaya lemak dan protein. Karbohidrat banyak ditemukan pada sereal seperti: beras, gandum, jagung, kentang, umbi-umbian, juga terdapat pada biji-bijian seperti: kedelai, kacang tanah, kacang hijau dan sebagainya.

Sebagaimana Allah berfirman dalam Al-Quran yang artinya: Dialah yang menjadikan bumi sebagai hamparan bagimu dan langit

²⁶ Wildan Yatim, *Biologi Sel*. (Bandung: Penerbit Tarsito, 2012). 155

sebagai atap, dan Dia menurunkan air hujan dari langit, lalu Dia menghasilkan dengan hujan itu segala buah-buahan sebagai rezeki bagimu, karena itu janganlah kamu mengadakan sekutu-sekutu bagi Allah, padahal kamu mengetahuinya. Dalam Surat Yasin ayat 33 Allah berfirman yang artinya: Dan suatu tanda (kebesaran Allah) bagi mereka adalah bumi yang mati (tandus). Kami hidupkan bumi itu dan Kami keluarkan darinya biji-bijian, maka dari biji-bijian itu mereka makan.

Pada proses pencernaan makanan, karbohidrat mengalami metabolisme berupa proses hidrolisis (penguraian menggunakan air) di dalam mulut dan usus halus, proses pencernaan karbohidrat terjadi dengan menguraikan polisakarida menjadi monosakarida.²⁷

“Dia menumbuhkan bagi kamu dengan air hujan itu tanam-tanaman; zaitun, kurma, anggur, dan segala macam buah-buahan. Sesungguhnya pada yang demikian itu benar-benar adalah tanda-tanda (kekuasaan Allah) bagi kamu yang memikirkannya” (An-nahl, 11).

Dari beberapa ayat Al-quran tersebut di atas bahwa Allah SWT telah menciptakan bumi sebagai tempat tumbuhnya berbagai macam tumbuh-tumbuhan yang diperuntukan untuk kebutuhan makhluk hidup terutama manusia. Allah menciptakan tumbuh-tumbuhan yang menghasilkan buah dan buah-buahan diciptakan karena mempunyai manfaat yang sangat penting bagi manusia untuk seluruh proses metabolisme yang terjadi di dalam tubuhnya. Meskipun demikian manusia dalam mengonsumsi dan memanfaatkan buah-buahan tidak boleh melampaui batas. Karena Allah telah mengingatkan dalam Al-Qur'an Surat Al-A'raf ayat 31, yang artinya: makan dan minumlah, dan janganlah berlebih-lebihan. Sesungguhnya Allah tidak menyukai orang-orang yang berlebih-lebihan.

Secara umum definisi karbohidrat adalah senyawa organik yang mengandung atom karbon, hidrogen dan oksigen, dan pada umumnya unsur hidrogen dan oksigen dalam komposisi menghasilkan H₂O. Di dalam tubuh karbohidrat dapat dibentuk dari beberapa asam amino dan sebagian dari gliserol lemak. Akan tetapi sebagian besar karbohidrat diperoleh dari bahan makanan yang dikonsumsi sehari-hari, terutama sumber bahan makan yang berasal dari tumbuh-tumbuhan.

²⁷ Rohana Kusumawati. *Biology*, (Jakarta: PT. Intar Pariwara, 2012). 13

Sumber karbohidrat nabati dalam bentuk glikogen, hanya dijumpai pada otot dan hati dan karbohidrat dalam bentuk laktosa hanya dijumpai dalam susu. Pada tumbuh-tumbuhan, karbohidrat dibentuk dari hasil reaksi CO_2 dan H_2O melalui proses fotosintesis di dalam sel-sel tumbuh-tumbuhan yang mengandung hijau daun (klorofil). Matahari merupakan sumber dari seluruh kehidupan, tanpa matahari tanda-tanda dari kehidupan tidak dijumpai.

Pada proses fotosintesis, zat hijau daun menyerap dan memanfaatkan energi matahari untuk menghasilkan karbohidrat dengan bahan utama CO_2 dari udara dan H_2O yang berasal dari tanah. Energi kimia yang terbentuk disimpan di dalam daun, batang, umbi, buah dan biji-bijian.

Karbohidrat yang terdapat pada makanan dapat dikelompokkan menjadi tiga, yakni:

a. Monosakarida

Monosakarida merupakan salah satu jenis karbohidrat yang paling sederhana (*simple sugar*), karena tidak dapat lagi dihidrolisis. Monosakarida larut di dalam air dan berasa manis, sehingga disebut gula. Terdapat tiga jenis monosakarida yang dianggap paling penting yakni, glukosa, fruktosa dan galaktosa.

1) Glukosa

Glukosa dikenal sebagai gula anggur atau secara ilmiahnya disebut dekstrosa. Glukosa banyak dijumpai pada buah-buahan, sayur-sayuran, madu, sirup jagung dan tetes tebu. Di dalam tubuh makhluk hidup glukosa diperoleh dari hasil akhir pencernaan amilum, sukrosa, maltosa dan laktosa.

Glukosa juga dijumpai di dalam aliran darah, sehingga umum disebut kadar gula darah dan berfungsi sebagai pensuplai energi bagi seluruh sel-sel dan jaringan tubuh. Menurut Soeharsono pada kondisi fisiologis kadar gula darah berkisar antara 80 s/d 120 mg%. Keadaan kadar gula darah meningkat melebihi normal disebut hiperglikemia, keadaan ini dijumpai pada penderita *Diabetes Mellitus*.²⁸

2) Fruktosa

²⁸ Soeharsono Martoharsono. *Biokimia 2*. (Yogyakarta: Gajah Mada University Press, 2006). 88

Fruktosa dikenal sebagai gula buah atau istilah ilmiahnya disebut levulosa. Fruktosa termasuk salah satu jenis sakarida yang paling manis, banyak terdapat pada mahkota bunga, madu dan hasil hidrolisis gula tebu. Di dalam tubuh organisme fruktosa diperoleh dari hasil pemecahan sukrosa.

3) Galaktosa

Tidak dijumpai dalam bentuk bebas di alam, galaktosa yang ada di dalam tubuh merupakan hasil hidrolisis dari laktosa.

b. Disakarida

Disakarida merupakan perpaduan antara 2 monosakarida dengan rumus kimianya adalah: $C_{12}H_{22}O_{11}$, terdiri dari 2 molekul sakarida. Pada bahan makanan terdapat 3 (tiga) jenis disakarida, yakni sukrosa, maltosa dan laktosa.

1) Sukrosa

Sukrosa adalah jenis gula yang sering dipergunakan dalam kehidupan sehari-hari, sehingga umum dikenal sebagai gula meja (*table sugar*) atau gula pasir dan disebut juga gula invert. Sukrosa tersusun dari 2 (dua) molekul monosakarida, yang terdiri atas satu molekul glukosa dan satu molekul fruktosa. Sukrosa dapat dijumpai pada: tebu (100% mengandung sukrosa), bit, gula nira (50%).

2) Maltosa

Maltosa terbentuk dari 2 (dua) molekul monosakarida yang tersusun atas dua molekul glukosa. Di dalam tubuh makhluk hidup maltosa diperoleh dari hasil pemecahan amilum, dengan sifat lebih mudah dicerna dan rasanya lebih enak dan nikmat. Melalui zat pewarna iodium amilum akan berubah menjadi warna biru.

3) Laktosa

Laktosa terbentuk dari 2 (dua) molekul monosakarida yang terdiri atas satu molekul glukosa dan satu molekul galaktosa. Laktosa sukar larut di dalam air. Laktosa banyak dijumpai pada susu sehingga disebut juga gula susu, misalnya:

susu sapi mengandung laktosa 4-5%, sedangkan asi mengandung laktosa 4-7%.

Laktosa dapat menyebabkan intoleransi (*laktosa intolerance*) yang dikarenakan kekurangan enzim laktase sehingga kemampuan untuk mencerna laktosa rendah. Kelainan ini dapat dijumpai pada bayi, anak-anak dan juga orang dewasa, secara permanen atau sementara. Gangguan yang sering dijumpai ialah diare, kembung, dan kejang perut. Kekurangan laktase pada bayi dapat mengakibatkan gangguan pertumbuhan, karena bayi sering mengalami diare.

c. Polisakarida

Polisakarida tergolong suatu senyawa karbohidrat yang kompleks, karena mengandung lebih dari 60.000 molekul monosakarida yang tersusun membentuk rantai lurus maupun bercabang-cabang. Rumus kimia molekul polisakarida adalah: $C_6H_{10}O_5$. Berbeda dengan monosakarida dan disakarida, polisakarida memiliki rasa tawar.

Terdapat 3 (tiga) jenis polisakarida, yakni amilum, dekstrin, glikogen dan selulosa.

1) Amilum (zat pati)

Amilum termasuk sumber energi utama karena dikonsumsi sebagai bahan makanan pokok oleh manusia diseluruh dunia, terutama penduduk yang tinggal di negara-negara yang sedang berkembang. Beberapa jenis umbi-umbian, sereal dan biji-bijian merupakan sumber zat pati yang sangat melimpah dan sangat mudah dijumpai. Termasuk beras, gandum, jagung mempunyai kandungan amilum yang tinggi sekitar 70%, sedangkan pada kacang-kacangan mengandung amilum sekitar 40%.

Karakteristik yang paling menonjol dari amilum adalah tidak larut di dalam air dingin, namun larut di dalam air panas menghasilkan cairan yang pekat seperti pasta, keadaan ini dikenal dengan "gelatinisasi".

2) Dekstrin

Dekstrin tersusun atas molekul yang sederhana, yang memiliki sifat mudah larut di dalam air. Karena itu dekstrin digolongkan sebagai zat antara dalam pemecahan amilum,

dengan pewarna iodium dekrin akan berubah menjadi warna merah.

3) Glikogen

Glikogen termasuk pati hewani, yang tersusun dari ikatan 1000 molekul, sifatnya larut di dalam air. Keadaan sebaliknya pati nabati tidak larut dalam air. Glikogen ini banyak dijumpai pada otot hewan, manusia termasuk ikan. Ketika hewan disembelih, seketika akan disusul dengan peristiwa kejang (*rigor mortis*) dan kemudian glikogen dipecah menjadi asam laktat selama *post mortum*. Sumber banyak terdapat pada kecambah, sereal, susu, sirup jagung (26%). Dan apabila glikogen bereaksi dengan iodium akan menghasilkan warna merah.

4) Selulosa

Selulosa merupakan bagian yang sangat penting dari dinding sel tumbuh-tumbuhan. Sebab sekitar 50% karbohidrat yang berasal dari tumbuh-tumbuhan terdiri atas selulosa. Selulosa tidak dapat dicerna oleh tubuh manusia. Hal ini disebabkan tidak ada enzim untuk memecah selulosa. Walaupun tidak dapat dicerna, namun selulosa berfungsi sebagai sumber serat yang dapat memperbesar volume dari faeses, sehingga akan memperlancar defekasi.

Para ilmuan sepakat bahwa serat merupakan komponen penyusun diet manusia yang sangat vital. Tanpa kehadiran serat, menyebabkan terjadinya konstipasi (susah buang air besar). Menurut Jhon W. Kimball karbohidrat penghasil serat-serat sangat bermanfaat sebagai diet (*diety fiber*) dan sangat berguna bagi pencernaan manusia.²⁹

Jadi fungsi karbohidrat di dalam tubuh makhluk hidup yang vital adalah sebagai sumber penghasil energi bagi kebutuhan sel-sel jaringan tubuh. Sebagian karbohidrat dapat diubah secara langsung menjadi energi terutama aktifitas tubuh, namun sebagian lainnya disimpan dalam bentuk glikogen di hati dan otot. Khusus pada jaringan sistem saraf dan eritrosit, hanya dapat memanfaatkan energi yang berasal dari karbohidrat saja.

²⁹ John W. Kimball. *Biologi*. Jilid 3 (Jakarta: Penerbit Erlangga, 1998). 63

2. Lemak

Lemak atau lipid adalah suatu zat atau bahan organik yang banyak mengandung energi. Menurut Morris lemak yang terdapat di dalam tubuh berasal dari dua sumber yakni makanan dan hasil produksi organ hati, yang dapat disimpan di dalam sel-sel lemak sebagai cadangan energi.³⁰

Fungsi lemak sebagai berikut: 1) sumber energi pada proses metabolisme sel; 2) proteksi organ tubuh; 3) pembentukan sel; 4) sebagai sumber asam lemak esensial; 5) media pengangkut vitamin larut lemak; 6) menghemat protein; 7) memberi rasa kenyang dan lezat; 7) sebagai bahan pelumas; 8) dan memelihara keseimbangan suhu tubuh.

Lemak yang paling umum dan penting terdiri atas trigliserida (lemak netral), kolesterol, fosfolipid dan asam lemak.

a. Trigliserida

Sebagian besar lemak dan minyak di alam mengandung antara 90 s/d 99% trigliserida. Trigliserida termasuk suatu ester gliserol yang tersusun dari 3 asam lemak dan gliserol. Apabila terjadi ikatan antara satu asam lemak berikatan dengan gliserol dinamakan monogliserida. Fungsi utama lemak trigliserida adalah sebagai zat energi.

b. Kolesterol

Kolesterol termasuk komponen utama pada struktur selaput sel dan sebagai komponen penting dari sel otak dan sel syaraf. Kolesterol dikenal sebagai bahan perantara pembentukan vitamin D yang menjadikan agar pembentukan tulang menjadi lebih sehat. Kolesterol juga penting untuk pembentukan hormon seks (estrogen dan testosteron) dan pembentukan asam empedu (proses pencernaan).

Pembentukan kolesterol di dalam tubuh terutama terjadi di hati (50% total sintesis) dan sisanya di usus, kulit, dan semua jaringan yang mempunyai sel-sel berinti. Jenis-jenis makanan yang banyak mengandung kolesterol antara lain daging (sapi maupun unggas), ikan dan produk susu. Makanan yang berasal dari daging

³⁰ Winokur Morris. *General Biology*. (New Jersey: Littlefield Adams & Co, 1962). 15

hewan biasanya banyak mengandung kolesterol, sedangkan makanan yang berasal dari tumbuh-tumbuhan tidak mengandung kolesterol.³¹

c. Lipid Plasma

Pada umumnya lemak tidak larut dalam air dan tidak larut pula dalam plasma darah. Agar lemak dapat didistribusikan dan diangkut ke sistem peredaran darah, maka lemak harus berikatan dengan protein yang larut dalam air. Pembentukan atau ikatan antara lemak (kolesterol, trigliserida, dan fosfolipid) dengan protein disebut lipoprotein. Terdapat 4 (empat) jenis lipoprotein, antara lain: 1) VLDL (*Very Low Density Lipoprotein*), jenis lipoprotein yang memiliki kerapatan yang sangat rendah, 2) LDL (*Low Density Lipoprotein*), lipoprotein yang memiliki kerapatan yang rendah, 3) IDL (*Intermediate Density Lipoprotein*), lipoprotein yang memiliki kerapatan sedang atau menengah, 4) HDL (*High Density Lipoprotein*), lipoprotein yang memiliki kerapatan yang sangat tinggi.

Hasil penelitian melaporkan bahwa hewan-hewan percobaan yang tidak memperoleh asupan kalori lemak yang memadai mengakibatkan proses pertumbuhannya menjadi terganggu dan terhambat, bahkan pertumbuhannya terhenti sama sekali dan akhirnya mati. Kandungan lemak yang rendah dalam makanan akan menyebabkan kulit menjadi kering dan bersisik.

Dalam saluran pencernaan, keberadaan lemak dan minyak di dalam lambung lebih lama dibandingkan dengan karbohidrat dan protein, demikian pula proses absorpsi lemak ternyata lebih lambat dibandingkan unsur lainnya. Itulah sebabnya kenapa makanan yang mengandung banyak lemak memberikan rasa kenyang yang lebih lama dibandingkan makanan yang kurang atau tidak mengandung lemak.

Disamping sebagai penyedia sejumlah energi, lemak juga berfungsi membantu absorpsi vitamin yang larut dalam lemak. Lemak juga merupakan sumber asam-asam lemak esensial yang tidak dapat dihasilkan tubuh, sehingga harus disediakan melalui makanan. Fungsi lemak yang lain sebagai bahan baku hormon yang

³¹ Kistinnah Indun. *Biologi Makhluk Hidup dan Lingkungannya*. (Surakarta: Penerbit CV. Putra Nugraha, 2007). 92

sangat berpengaruh terhadap proses fisiologis di dalam tubuh, seperti pada produksi hormon seks.

3. Protein

Protein ditemukan oleh Jons Jakob Berzelius pada tahun 1838. Protein adalah salah satu bahan organik yang terdapat pada semua sel dan termasuk komponen terbesar dalam tubuh makhluk hidup setelah air. Protein mempunyai fungsi khusus yang tidak dapat digantikan oleh bahan organik yang lain, yaitu membangun dan memelihara sel-sel termasuk jaringan tubuh makhluk hidup. Derivat protein antara lain: seluruh enzim, berbagai jenis hormon, pengangkut zat-zat gizi dan darah, matriks intra seluler dan lain-lain.

Asam amino juga membentuk protein yang bertindak sebagai prekursor sebagian besar koenzim, hormon, asam nukleat, dan molekul-molekul yang esensial lainnya. Kebanyakan protein merupakan enzim atau subunit enzim. Pembentukan protein yang dilakukan oleh satu polipeptida disebut sebagai protein monomerik, sedangkan protein yang dibentuk oleh beberapa polipeptida dikenal sebagai protein multimerik, contohnya hemoglobin.

Dalam kehidupan protein memegang peranan yang sangat penting, seluruh proses kimia dalam tubuh berlangsung dengan baik karena adanya enzim yang berfungsi sebagai biokatalis. Hemoglobin dalam butir-butir darah merah atau eritrosit yang berfungsi sebagai pengangkut oksigen dari paru-paru ke seluruh bagian tubuh, adalah salah satu jenis protein. Zat-zat yang berperan untuk melawan bakteri penyakit atau disebut antigen, juga suatu protein.

Berbagai jenis protein lain memiliki peran dan fungsi sebagai berikut:

- a. Protein yang mempunyai fungsi secara struktural atau mekanis, seperti protein yang menyusun sendi disebut *sitoskeleton*.
- b. Protein yang berperan dalam sistem kekebalan tubuh (imun) sebagai antibody.
- c. Protein sebagai suatu sistem pengedali dalam membentuk hormone.
- d. Protein sebagai komponen penyimpanan terutama dalam biji dan juga dalam transportasi hara.
- e. Protein sebagai salah satu sumber gizi untuk membangun dan memelihara sel-sel tubuh.

- f. Protein juga berperan sebagai sumber asam amino bagi organisme yang tidak mampu membentuk asam amino tersebut (*heterotrof*).

Kode genetik yang dibawa DNA ditranskripsi menjadi RNA, yang berperan sebagai cetakan bagi translasi yang dilakukan ribosom. Sampai tahapan tersebut, protein masih “mentah”, hanya tersusun dari asam amino proteinogenik. Melalui mekanisme pascatranslasi, terbentuklah protein yang memiliki fungsi penuh secara biologi.

BAB IV

GENETIKA I

A. Uraian

Genetika adalah bidang sains yang mempelajari tentang pewarisan sifat dan variasi yang diwariskan. Teori pewarisan sifat atau yang lebih dikenal dengan nama hukum hereditas pertamakali diperkenalkan oleh Gregor Mendel. Mendel mengemukakan bahwa sifat-sifat induk dapat diturunkan dari generasi ke generasi melalui faktor penentu. Mendel menemukan prinsip dasar tentang pewarisan sifat dengan cara membiakan ercis kebun dalam percobaan yang dirancang secara teliti. Mendel mengembangkan teori pewarisan sifatnya beberapa dasawarsa sebelum kromosom dapat diamati dan dilihat dengan menggunakan alat mikroskop.

Seperti diketahui bahwa pewarisan sifat ditentukan oleh kromosom dan gen. Persilangan monohibrid yaitu perkawinan yang menghasilkan pewarisan satu karakter dengan dua sifat yang berbeda. Persilangan dihibrid merupakan persilangan atau perkawinan yang menghasilkan dua karakter yang berbeda. Kromosom adalah struktur berbentuk benang yang terletak di dalam inti sel yang bertanggung jawab pada aspek sifat-sifat keturunan atau hereditas. Gen adalah unit atau kesatuan terkecil yang terletak pada bagian kromosom yang disebut lokus. Fungsi gen yang utama adalah menyampaikan informasi genetik kepada keturunannya sekaligus mengendalikan perkembangan dan metabolisme sel.

B. Sejarah Genetika

Sejarah perkembangan genetika sebagai ilmu pengetahuan dimulai menjelang akhir abad ke-19 ketika seorang biarawan Austria bernama Gregor Mendel sukses menganalisis dengan cermat dan mampu menginterpretasi dengan benar terhadap hasil-hasil percobaan persilangannya yang dilakukan pada tanaman kacang ercis (*Pisum satifum*). Sejumlah percobaan terdokumentasi yang berkaitan dengan genetika telah banyak dilakukan pada masa sebelum Mendel, yang kelak banyak membantu memberikan kontribusi

serta bukti bagi teori yang dikembangkan oleh Mendel. Percobaan-percobaan yang pernah dilakukan sebelumnya adalah sebagai berikut:

1. Percobaan yang dilakukan oleh Köhltreuter berkebangsaan Jerman pada abad ke 17 melakukan persilangan antara lobak dan kubis untuk mendapatkan umbi dan krop kubis, namun percobaannya gagal menghasilkan umbi dan krop kubis.
2. Penemuan dan penjelasan yang dilakukan oleh E. Strassburger pada tahun 1878 dan dilanjutkan oleh S. Nawaschin tahun 1898, tentang pembuahan berganda pada tumbuhan berbunga (*Magnoliophyta*).
3. Percobaan oleh Charles Darwin pada abad ke-19 yang dipublikasikan pada tahun 1896 dengan judul *The variation of animals and plants under domestication* dan berhasil mengidentifikasi adanya penurunan penampakan pada generasi hasil perkawinan sekerabat (*depresi inbred*) dan penguatan penampakan pada hasil persilangan antar inbred (*heterosis*), namun fakta tersebut tidak dapat dijelaskan secara tuntas.
4. Penjelasan yang dikemukakan oleh Karl Pearson melalui metode regresi mengenai fenomena kemiripan antara orang tua dengan anak-anaknya.

Sebenarnya, Mendel bukanlah orang pertama yang melakukan percobaan-percobaan persilangan. Namun, berbeda dengan para pendahulunya yang mengamati setiap individu dengan keseluruhan sifatnya yang kompleks. Mendel mengamati pola pewarisan sifat demi sifat sehingga menjadi lebih mudah untuk diikuti. Ilmu genetika pertama kali diperkenalkan oleh seorang pastor bernama Gregor Mendel pada 1865. Pada kenyataannya hingga tahun 1900 karya Mendel (yang tidak dikenal umum hingga 1900), penjelasannya tentang pola pewarisan sifat ini kemudian menjadi landasan utama perkembangan genetika sebagai suatu cabang ilmu pengetahuan, karena itu Mendel akhirnya diakui sebagai Bapak Genetika.

Karya Mendel tentang pola pewarisan sifat tersebut dipublikasikan pada tahun 1866 di *Proceedings of the Brunn Society for Natural History*. Namun, kurun waktu selama 30 tahun tidak pernah ada peneliti lain yang memperdulikannya. Baru sekitar tahun 1900 tiga orang ahli botani melakukan percobaan secara terpisah, yaitu Hugo de Vries di Belanda, Carl Correns di Jerman dan Eric Von Tschermak-Seysenegg di Austria, menemukan bukti kebenaran prinsip-prinsip Mendel. Semenjak saat itu berbagai percobaan dan pengamatan di bidang genetika terutama tentang persilangan atas dasar

prinsip-prinsip Mendel sangat mendominasi dan hal ini menandai berlangsungnya suatu era yang disebut era genetika klasik.

Pengamatan-pengamatan atas sifat menurun yang tergolong kausal dan tidak sistematis tampaknya memperkuat *The Blending Theory of Inheritance*. Pada kenyataannya memang tidak ada usaha kuantifikasi selama pengamatan, tidak ada upaya untuk mengamati hanya satu sifat disuatu waktu, demikian pula tidak ada pengamatan yang dilaksanakan secara terencana selama beberapa generasi berurutan.

Dewasa ini sudah terlihat jelas bahwa *The Blending Theory of Inheritance* tidak benar, sekalipun diberbagai kesempatan orang masih mengemukakan ungkapan-ungkapan yang berasal dari teori itu. Hasil karya Mendel yang dirumuskan pada 1865, memang pertama kali mengetengahkan satu mekanisme pewarisan sifat-sifat menurun yang berbeda, sebagaimana umumnya terjadi menurut *The Blending Theory of Inheritance*, dan sejak 1900 setelah semakin banyak eksperimen dilakukan dibidang genetika, semakin jelas bahwa teori itu tidak benar.³²

Kajian genetika klasik dimulai dari gejala fenotipe (yang tampak oleh pengamatan manusia) lalu dicarikan penjelasan genotipiknya dengan uraian mengenai gen. Berkembangnya teknik-teknik dalam bidang genetika molekular secara efektif dan efisien memunculkan filosofi baru dan relevan dalam metodologi genetika, dengan membalik arah kajian. Karena banyak gen yang sudah diidentifikasi sekuensnya, orang memasukkan atau mengubah suatu gen dalam kromosom lalu melihat implikasi fenotipik. Teknik-teknik analisis yang menggunakan filosofi ini dikelompokkan dalam kajian genetika arah-balik atau *reverse genetics*, sementara teknik kajian genetika klasik dikenal sebagai genetika arah-maju atau *forward genetics*.

C. Gen dan Kromosom

1. Gen

Gen adalah kesatuan terkecil yang merupakan bahan dasar yang menentukan sifat suatu makhluk hidup dan dapat diwariskan, karena di dalam gen mengandung informasi genetik yang memuat enzim dan protein yang berperan penting dalam proses metabolisme. Istilah gen diperkenalkan pertama kali oleh W. Johannsen pada tahun 1909. Gen terdiri atas ADN

³² AD. Corebima. *Genetika Mendel*. (Surabaya: Penerbit Airlangga University Press, 2013). 6

(Asam Deoksiribosa Nukleat), yang diselaputi dan diikat oleh protein. Karena gen terdiri atas ADN, sebenarnya kesatuan atau unit bahan genetik itu pada prinsipnya adalah ADN.

Gen mengendalikan dan mengatur berbagai sifat dan jenis karakter dalam tubuh, yaitu karakter fisik, seperti morfologi, anatomi, fisiologi dan karakter psikis, seperti sifat pemalu, sifat pemarah, sifat penakut dan sifat pemberani. Untuk menumbuhkan dan mengatur karakter dilakukan melalui proses sintesis protein dalam sel yang berlangsung cukup kompleks. Masing-masing gen bekerja melakukan fungsi di dalam sintesis protein. Semua jaringan dan alat dalam tubuh makhluk hidup disusun dan dibina sebagian besar dari protein, karena itu sebagian besar tubuh kita ini memiliki ($\pm 95\%$ berat kering) terdiri dari protein. Seperti kulit tersusun atas keratin, otot dari myosin dan aktin, darah dari hemoglobin, globulin, albumin, protrombin, fibrinogen, jaringan pengikat dari kolagen dan elastin, tulang dari ossein, tulang rawan dari kondrin dan enzim-enzim (yang terdapat dalam saluran pencernaan) juga protein.

Posisi dan letak gen di kromosom adalah pada manik-manik yang dikenal sebagai Kromomer atau Nukleuson. Manik-manik itu berjejer lurus (linier) sepanjang poros kromatin, karena itu letak gen itu pada kromatin bersifat linier, tidak berselang seling, berdempet atau berdampingan dan tidak pula saling menumpuk. Dalam ilmu genetika tempat gen pada kromosom disebut dengan *lokus*.

Komponen penyusun gen ada tiga yaitu: 1) Rekon merupakan komponen yang lebih kecil dari gen dan terdiri atas satu atau dua pasang nukleotida saja, 2) Muton adalah komponen yang memiliki lebih dari dua nukleotida, dan 3) Sistron ialah komponen yang terdiri dari ratusan nukleotida.

Terdapat paling tidak ada 4 (empat) fungsi gen yang hingga sekarang ini diidentifikasi, yaitu:

- a. Gen mengendalikan dan mengatur proses metabolisme di dalam sel.
- b. Gen sebagai sarana penyampaian informasi genetik dari generasi ke generasi berikutnya.
- c. Gen terdiri atas zat yang memiliki ukuran sangat kecil dan tidak dapat dideferensiasi lagi.
- d. Setiap gen menempati lokus tertentu di dalam kromosom.

Sedangkan sifat-sifat gen yang dapat dikenali oleh para ilmuwan, antara lain:

- a. Gen sebagai materi berupa zarah yang kompak dan terdapat di dalam kromosom yang mengandung informasi genetik.
- b. Gen berperan penting dalam pewarisan sifat atau heriditas.
- c. Gen dapat melakukan *self duplication* pada peristiwa pembelahan sel.

Jadi gen, sebenarnya merupakan kesatuan atau unit penurunan sifat pada makhluk hidup. Seluruh karakter makhluk hidup dikendalikan dan diatur ditingkat gen, karena itulah gen-gen ini sangat menentukan karakteristik, corak dan pola semua protein. Letak gen dalam lokus kromosom yang terlihat seperti hamparan DNA yang masing-masing memiliki kode untuk satu jenis protein.

Asam deoksiribosa nukleat adalah sebuah molekul yang berupa substansi penurunan sifat. ADN berupa suatu polimer heliks ganda (*double helix*) yang terdiri atas nukleotida dan setiap nukleotida terdiri atas tiga komponen, yakni:

- a. 1 (satu) basa nitrogen → adenine (A), timin (T), guanine (G), atau sitosin (S). A dan T anggota famili basa nitrogen yang disebut purin (basa nitrogen dengan dua cincin organik). Sebaliknya T dan S anggota famili basa nitrogen dikenal sebagai pirimidin (basa nitrogen yang memiliki satu cincin tunggal).
- b. 1 (satu) gula pentose yang disebut deoksiribosa.
- c. 1 (satu) gugus fosfat.

Tabel 4.1
Perbedaan Asam Deoksiribosa Nukleat dan Asam Ribo Nukleat

ADN	ARN
Terdapat di dalam nukleus	Terdapat di dalam nukleus dan sitoplasma
Berperan dalam penurunan sifat dan sintesis protein	Berperan dalam sintesis protein
<i>Double helix</i>	<i>Single helix</i>
Kadarnya tidak dipengaruhi oleh aktivitas sintesis protein	Kadarnya dipengaruhi oleh aktivitas sintesis protein
Basa nitrogen terdiri atas purin: adenin (A) dan guanin (G), pirimidin: timin (T) dan sitosin (C)	Basa nitrogen terdiri atas purin: adenin (A) dan guanin (G), pirimidin: urasil (U) dan sitosin (C)
Komponen gulanya deoksiribosa	Komponen gulanya ribosa

Sebenarnya gen tidak hanya terletak pada inti (*nukleolus*) dalam kromosom. Namun terdapat beberapa gen terletak pada plasma sel dan kromagen (gen yang terletak pada kromosom dalam inti). Karena itu ada dua

kelompok gen yang diperoleh dari pengamatan pada *Drosophila*, jumlah gen pada tiap kromosom ada 1000 buah. Jumlah gen pada *Drosophila* berarti sekitar 4000 (kromosom 4 pasang). Diketahui bahwa seseorang mempunyai jumlah kromosom sebanyak 46, maka jumlah gen pada manusia, dengan memakai *Drosophila* sebagai pedoman, adalah sekitar 50.000.

Seorang ahli embriologi bernama Thomas Hunt Morgan melakukan percobaan-percobaan untuk membuktikan bahwa kromosom merupakan lokasi gen dan sebagai faktor yang menentukan sifat-sifat yang diwariskan. Dalam percobaannya Morgan menggunakan lalat buah (*Drosophila melanogaster*). Kenapa Morgan memilih lalat buah? Salah satu alasan Morgan menggunakan alat buah sebagai objek percobaannya karena lalat buah mudah didapatkan dan cepat berkembangbiak. Dalam setiap perkawinannya lalat buah menghasilkan ratusan keturunan dan generasi dalam waktu sekitar dua hingga tiga minggu. Disamping itu lalat buah memiliki empat pasang kromosom yang dapat diamati dengan menggunakan mikroskop cahaya, terdapat tiga pasang autosom dan sepasang kromosom kelamin. Lalat buah betina memiliki pasangan kromosom homolog X, sedangkan jantan memiliki satu kromosom X dan satu kromosom Y.

Morgan mungkin merupakan orang pertama yang menginginkan berbagai varietas lalat buah. Setelah berbulan-bulan melakukan hal itu, ia mengeluh, “ Kerja dua tahun terbuang sia-sia, saya membiakan lalat selama dua tahun dan saya tidak memperoleh apa-apa.” Akan tetapi, Morgan melanjutkan pekerjaannya dengan teguh dan akhirnya memperoleh imbalan berupa seekor lalat jantan dengan mata putih dan mata merah biasa.³³

Berikut ini beberapa bukti hasil penelitian Gregor Mendel: 1) ciri-ciri yang berlawanan pada tanaman ercis yang disilangkan oleh Mendel, seperti biji bulat dan biji keriput, ditentukan oleh unit karakter atau faktor-faktor (dewasa ini dikenal dengan gen-gen), diwariskan dari induk kepada keturunan melalui gamet; tiap faktor dapat berada sebagai bentukan-bentukan alternatif (alela-alela) yang bertanggung jawab terhadap karakter alternatif yang dimunculkannya.³⁴

Hasil percobaan kedua adalah beberapa makhluk, seperti *drosophila*, bakteri, jamur, kapas dan tikus sering dijumpai akan adanya suatu karakter yang pertumbuhannya nampak seperti ditentukan oleh suatu gen yang sealel. Sebenarnya apabila dicermati dan diteliti secara cermat, mereka bukan satu

³³ Neil A. Campbell., Jane B. Recce.. dan Urry Lisa A. *Biologi*. Edisi Kedelapan Jilid 2 (Jakarta: Penerbit Erlangga). 311

³⁴ *Op.cit.* AD. Corebima. 11

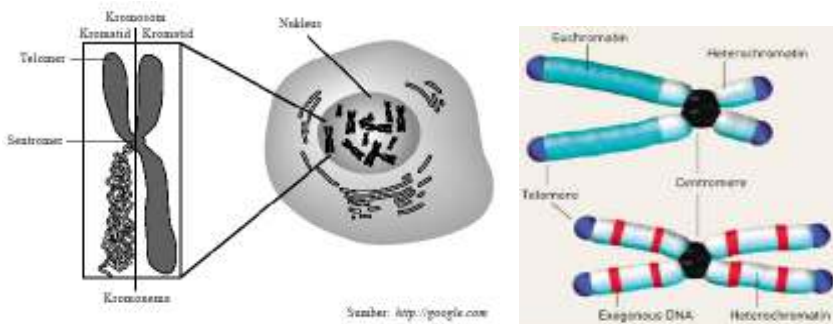
gen, tapi terdiri dari beberapa gen yang masing-masing memiliki alel sendiri-sendiri pula.³⁵

2. Kromosom

Kromosom berasal dari kata *chromo* dan *soma*, *chromo* berarti warna sedangkan *soma* bermakna tubuh atau badan. Jadi, kromosom merupakan sebuah badan yang dapat menyerap warna. Kromosom merupakan salah satu organela sel yang sangat vital, sebab di dalam kromosom tersembunyi gen yang terdiri atas molekul *Deoxyribonucleic acid* atau DNA yang banyak mengandung berbagai protein.

a. Bagian-bagian Kromosom

Kromosom terdapat pada nukleus (inti sel) pada setiap sel. Untuk mengamati sebuah kromosom dapat dilihat pada tahap metafase saat terjadi pembelahan baik secara mitosis maupun secara meiosis. Berikut adalah gambar sebuah kromosom:

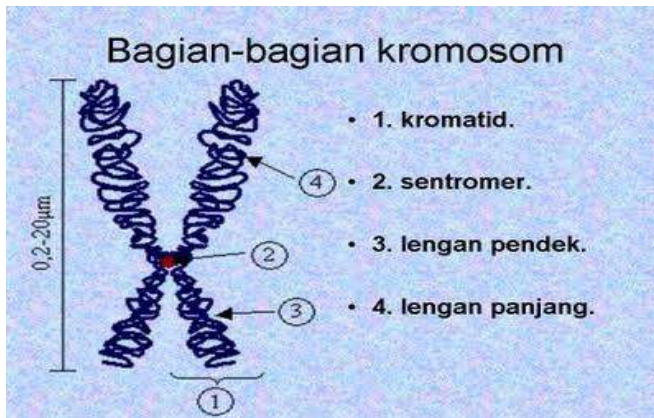


Gambar 4.1. Sebuah kromosom

Struktur kromosom terdiri atas kromatin (lengan), telomer (ujung kromatid), satelit (penghubung kromatid), kinetohor (penghubung satelit), sentromer (pelindung satelit), kromatin (benang-benang kromosom), kromomer (lokus gen). Sentromer memiliki fungsi yang sangat penting dalam pembelahan sel secara mitosis dan meiosis. Lengan kromosom merupakan badan kromosom itu sendiri. Setiap kromosom memiliki satu atau dua lengan. Setiap lengan kromosom mengandung benang-benang halus yang berpilin. Selanjutnya benang-benang halus dikenal dengan kromatin. Benang-benang kromatin juga

³⁵ Wildan Yatim. *Genetika*. (Bandung: Penerbit Tarsito, 2003). 281

merupakan untaian DNA yang berpilin dengan protein histon. Bentuk ikatan DNA dan protein histon disebut juga nukleosom.



Gambar 4.2. Bagian-bagian kromosom

Kromatid merupakan lengan kromosom yang terikat satu dengan yang lainnya, dalam gambar terlihat sepasang kromatid kembar diikat oleh sebuah sentromer. Istilah lain dari kromatid adalah kromonema dan kromonema ini terlihat pada peristiwa pembelahan sel pada masa profase dan juga pada masa interfase.

Pada kromosom terdapat satu wilayah tidak mengandung gen atau informasi genetik, wilayah ini disebut sentromer. Pada masa pembelahan, sentromer merupakan struktur yang sangat penting, karena pada bagian inilah lengan kromosom (kromatid) saling melekat satu sama lain pada masing-masing bagian kutub pembelahan. Bagian dari kromosom yang melekat pada sentromer dikenal dengan istilah kinetokor.

Kromomer adalah struktur yang berbentuk manik-manik yang merupakan akumulasi dari materi kromatid yang kadang-kadang terlihat pada pembelahan masa interfase. Pada kromosom yang telah mengalami pembelahan berkali-kali, biasanya kromomer ini sangat jelas terlihat.

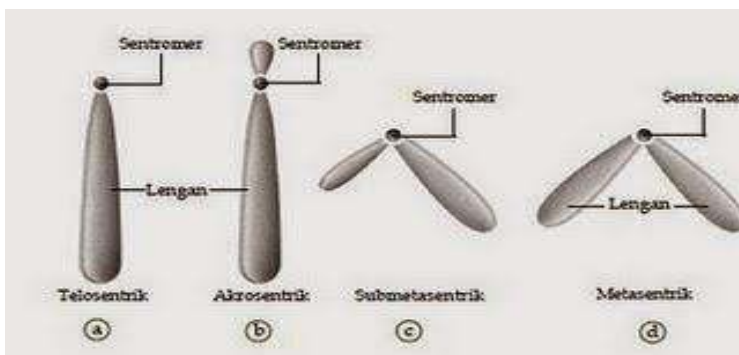
Telomer adalah bagian berisi DNA pada kromosom, fungsinya untuk menjaga stabilitas ujung kromosom agar DNA-nya tidak terurai.

b. Bentuk-bentuk Kromosom

Berdasarkan panjang lengan dan letak sentromernya, kromosom memiliki 4 (empat) bentuk, yakni:

- 1) Metasentrik, kromosom jenis ini memiliki panjang lengan yang hampir sama sehingga letak sentromer berada di tengah-tengah kromosom, sehingga bentuknya menyerupai huruf V.
- 2) Submetasentrik, kromosom jenis ini memiliki panjang lengan yang berbeda satu lengan kromosom relatif lebih pendek daripada yang lain dimana posisi sentromer mengarah ke salah satu ujung atau bergeser dari tengah kromosom, sehingga bentuknya seperti huruf J.
- 3) Akrosentrik, kromosom jenis ini mempunyai panjang lengan yang berbeda juga, dimana salah satu lengan kromosom jauh lebih pendek daripada lengan kromosom lainnya.
- 4) Telosentrik, kromosom jenis ini hanya memiliki satu lengan kromosom, posisi sentromernya berada diujung kromosom.

Berikut adalah gambar kromosom berdasarkan panjang lengan:



Gambar 4.3. Bentuk-bentuk kromosom

c. Jumlah Kromosom

Makhluk hidup yang tergolong eukariotik mempunyai jumlah kromosom yang tidak sama. Jumlah kromosom pada umumnya adalah genap, baik pada sel tubuh (somatis), sebab kromosom sel somatis selalu berpasang-pasangan. Jumlah kromosom sel somatis terdiri dari 2 (dua) set kromosom yang dikenal dengan sifat diploid ($2n$), yang berasal dari induk jantan dan induk betina. Berikut ini jumlah kromosom pada beberapa makhluk hidup seperti, manusia dengan jumlah kromosom 46, gorilla dan orang hutan dengan jumlah kromosom 48.

Pada sel gamet atau sel kelamin, seperti sel telur dan sel sperma, memiliki setengah dari jumlah kromosom sel somatis. Jumlah kromosom sel gamet hanya satu set yang disebut haploid (n). Pada manusia jumlah kromosom sel somatis adalah 46, sel telur atau sel sperma mempunyai 23 kromosom. Dengan terjadinya proses pembuahan atau fertilisasi (peleburan sel telur dan sel sperma) justru mengembalikan jumlah kromosom sel tubuh menjadi 46 buah.

d. Tipe Kromosom

Berdasarkan fungsinya, kromosom dibedakan menjadi 2 (dua) tipe, yakni:

- 1) Kromosom tubuh (autosom), yakni kromosom yang menentukan ciri-ciri tubuh, sehingga dikenal dengan nama kromosom biasa atau kromosom somatis. Pada manusia dengan jumlah kromosom sel somatis 46 buah, memiliki 44 autosom dan kromosom kelamin sebanyak 2 kromosom. Sehingga kromosom tipe autosom ini sama sekali tidak mempunyai andil dan peran dalam menentukan jenis kelamin pada makhluk hidup.
- 2) Kromosom kelamin (gonosom), yakni kromosom yang menentukan jenis kelamin pada individu jantan dan betina, sehingga disebut juga kromosom kelamin atau kromosom seks. Berbeda dengan tipe autosom, tipe gonosom justru sangat menentukan jenis kelamin pada makhluk hidup. Pada manusia memiliki jumlah kromosom sel somatis 46 buah, yang terdiri dari 44 autosom dan sisanya 2 gonosom. Pada manusia normal di dalam setiap tubuhnya terdapat 46 kromosom. Bagi yang tidak normal (abnormal) jumlah kromosom dalam tubuhnya adalah 47. Hal ini disebabkan oleh beberapa faktor salah satunya adalah kromosomnya gagal berpisah. Dimana anggota-anggota pasangan kromosom homolog yang tidak terpisah dengan benar saat peristiwa meiosis I.

Terdapat 2 jenis gonosom, yaitu X dan Y. Umumnya pada makhluk hidup, gonosom X menentukan jenis kelamin betina dan gonosom Y menentukan jenis kelamin jantan. Oleh karena itu, susunan gonosom betina adalah XX dan gonosom jantan adalah XY. Misalnya, penulisan kromosom sel somatik ($2n$) adalah $44A + XY$ (jantan) atau $44A + XX$ (betina). Adapun untuk sel gamet (n) adalah $22A + X$ atau $22A + Y$.

D. Genetika Molekuler

Sekitar bulan April tahun 1953, James Watson dan Francis Crick menggemparkan dunia ilmiah dengan model heliks-ganda elegan untuk struktur *Deoxiribosenucleic Acid*. *Deoxiribosenucleic Acid* adalah zat pewarisan sifat merupakan molekul yang paling spektakuler pada abad ke 20.

Cabang biologi yang mempelajari ilmu biologi pada tingkat molekuler disebut Biologi Molekuler. Jadi, biologi molekuler adalah cabang dari ilmu biologi yang mempelajari dan mendalami keterkaitan antara struktur dan fungsi molekul-molekul hayati sekaligus kontribusi hubungan tersebut terhadap pelaksanaan dan pengendalian berbagai proses biokimia. Dengan demikian, materi kajian utamanya adalah makromolekul hayati, seperti karbohidrat, lemak, protein, dan asam nukleat.

Biologi molekuler sebagai cabang ilmu pengetahuan khususnya ilmu biologi termasuk relatif baru dan merupakan ilmu interdisiplin antar bidang seperti Biokimia, Biologi Sel, dan Genetika. Karena itu, konsep-konsep biokimia, biologi sel dan genetika akan menjadi rujukan dalam mengembangkan biologi molekuler. Untuk menghindari penyampaian materi yang cenderung tumpang tindih, maka harus diupayakan batas-batas materi dari masing-masing disiplin ilmu tersebut. Sebagai contoh, reaksi metabolisme yang diatur oleh pengaruh konsentrasi reaktan dan produk merupakan kajian dari Biokimia. Akan tetapi, apabila reaksi ini dikatalisis oleh sistem enzim yang mengalami perubahan struktur, maka kajiannya dipelajari pada ilmu biologi molekuler. Demikian pula, materi struktur komponen intrasel yang merupakan kajian pada bidang biologi sel. Namun, hubungannya dengan struktur dan fungsi molekul kimia sel akan didalami pada ilmu biologi molekuler. Termasuk juga, materi tentang komponen dan proses replikasi DNA dipelajari pada bidang genetika, akan tetapi macam-macam enzim DNA polimerase beserta fungsinya masing-masing merupakan ruang lingkup dari ilmu biologi molekuler.

E. Pewarisan Sifat

Berdasarkan catatan sejarah, genetika modern diperkenalkan pertama kali oleh seorang biarawan yang bernama Gregor Mendel pada tahun 1900. Beliau mendokumentasikan mekanisme partikulat untuk pewarisan sifat (*heriditas*), atas jasanya itulah akhirnya Gregor Mendel dikenal sebagai Bapak Genetika. Gregor Mendel mengembangkan teori pewarisan sifatnya beberapa dasawarsa sebelum kromosom terlihat dengan mikroskop dan nilai penting

perilaku kromosom dipahami. Pewarisan sifat adalah suatu pewarisan yang berasal dari induk kepada keturunannya. Ilmu yang mempelajari tentang *heriditas* dikenal dengan nama Genetika. *Genetika* berasal dari bahasa latin *Genos* yang memiliki makna asal usul atau suku bangsa. Pewarisan sifat atau *heriditas* ini dapat ditentukan oleh kromosom dan gen.

Kromosom adalah struktur organela sel yang berupa benang yang terdapat dalam inti sel serta bertanggung jawab menyangkut sifat keturunan (*hereditas*). Gen adalah kesatuan atau unit terkecil yang terdapat pada kromosom yang dikeal dengan *Lokus*. Fungsi Gen adalah menyampaikan informasi genetik kepada keturunannya sekaligus mengendalikan perkembangan dan metabolisme sel.

Uraian mengenai sifat keturunan yang paling banyak diikuti oleh masyarakat selama tahun 1800-an adalah hipotesis “campuran” atau “pencampuran”, campuran gagasan materi genetik yang disumbangkan oleh kedua orang tua. Contohnya pencampuran antara warna biru dan kuning menjadi warna hijau. Senyawa kimia yang terdapat didalam inti sel adalah asam nukleat. Fungsi asam nukleat sebagai informasi yang mengatur pemunculan sifat dari suatu makhluk hidup. Suatu sifat akan terbentuk melalui pengendalian enzim-enzim atau senyawa protein lain yang disintesis oleh asam nukleat.

Selain itu dengan adanya asam nukleat segala aktivitas hidup dikendalikan melalui pengendalian enzim-enzim yang disintesis oleh asam nukleat. Fungsi pengendalian dan pengaturan sintesis protein inilah yang dijadikan dasar untuk menyebut asam nukleat sebagai substansi genetika pembawa informasi genetik.³⁶

Setiap makhluk hidup memiliki sifat alamiah yaitu mengadakan keturunan, agar supaya jenisnya tidak mengalami kepunahan. Dalam Setiap makhluk hidup proses pembiakan dapat berlangsung melalui 2 (dua) cara, yakni:

1. Secara vegetatif (aseksual) yang dapat dibedakan lagi menjadi 4 (empat) cara, yakni:
 - a. Melalui pembelahan sel, yakni satu sel membelah menjadi dua, dua sel menjadi empat dan seterusnya, seperti yang dapat terjadi pada bakteri.
 - b. Melalui spora seperti yang terjadi pada bakteri, cendawan, lumut dan jenis paku-pakuan.

³⁶ *Op.cit.* Neil A. Campbell., Jane B. Recce., 282

- c. Dengan setek yang dapat dilakukan pada tanaman ubi kayu, bunga mawar, dan sebagainya.
- d. Dengan pencangkokan yang dapat dilakukan pada tanaman, seperti tanaman mangga, jambu, apokat dan sebagainya.

Oleh karena pada pembiakan vegetatif tidak terjadi proses persilangan atau perkawinan, maka keturunan yang dihasilkan akan selalu memiliki sifat yang sama persis dengan induknya.

- 2. Secara generatif (seksual), cara pembiakan tipe ini umumnya terjadi pada makhluk hidup tingkat tinggi. Pada pembiakan generatif diperlukan adanya gamet-gamet (sel-sel kelamin) yang berbeda jenis kelaminnya. Gamet betina disebut sel telur (ovum), sedangkan gamet jantan disebut spermatozoa. Pada tumbuh-tumbuhan gamet betina disebut makrospora (karena bentuknya lebih besar), pada gamet jantan dikenal dengan mikrospora (ukurannya lebih kecil).

Menurut Suryo pembiakan generatif mempunyai arti lebih penting bagi genetika karena pembiakan ini terjadilah terlebih dahulu pembuahan antara gamet jantan dan betina.³⁷

F. Aspek-aspek dalam Pewarisan Sifat

1. Persilangan Monohibrid

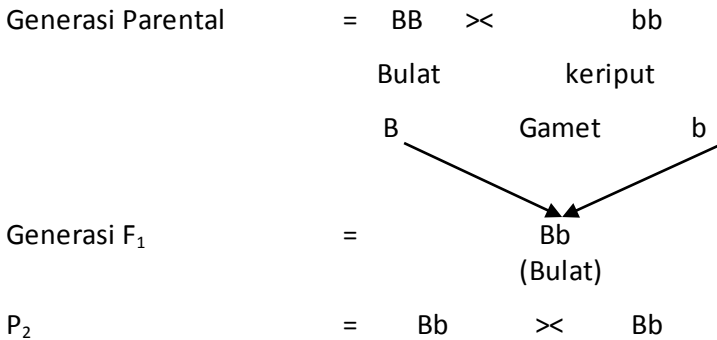
Pada awal percobaannya, Mendel melakukan penyilangan galur murni tanaman kacang ercis yang memiliki satu sifat beda yang berlawanan. Galur murni dari tanaman induk disebut generasi P (*Parental*), selanjutnya turunan yang pertama dari hasil penyilangan dikenal sebagai generasi F1 (*Filial*) dan turunan kedua hasil penyilangan disebut F2.

Hasil persilangan satu sifat beda menunjukkan generasi F1 tidak memperlihatkan adanya percampuran dari sifat-sifat induknya, namun menunjukkan sifat dari salah satu induknya. Pada generasi selanjutnya sifat induk yang nampak pada generasi pertama sebanyak $\frac{3}{4}$ bagian, sisanya sebesar $\frac{1}{4}$ sifat induk yang tidak nampak pada generasi pertama akan muncul pada generasi kedua, sehingga perbandingannya menjadi 3 : 1. Peristiwa ini selanjutnya dikenal sebagai persilangan monohibrid.

³⁷ Suryo. *Genetika untuk Strata 1*. Cetakan Kelimabelas (Yogyakarta: Gadjah Mada University, 2013), 3

Hukum Mendel I (hukum segregasi bebas atau pemisahan alel-alel), yakni pada waktu pembelahan gamet terjadi segregasi atau pemisahan-pemisahan alel-alel secara bebas dari diploid menjadi haploid.

Contoh persilangan momohibrid adalah sebagai berikut:



Generasi F₂ =

Gamet	B	b
B	BB (Bulat)	Bb (Bulat)
b	Bb (Bulat)	bb (keriput)

Perbandingan genotip F₂ = BB : Bb : bb

$$= 1 : 2 : 1$$

Perbandingan fenotip F₂ = Bulat : Keriput

$$= 3 : 1$$

Persentase biji bulat = $\frac{3}{4} \times 100\%$

$$= 75\%$$

Persentase biji keriput = $\frac{1}{4} \times 100\%$

$$= 25\%$$

Dari contoh persilangan momohibrid di atas nampak bahwa terdapat pemisahan alel pada waktu tanaman F₁ (heterozigot) membentuk gamet, sehingga gamet mempunyai salah satu alel. Ada gamet alel dengan (B) dan ada gamet alel (b). Prinsip ini diformulasikan sebagai Hukum Mendel I yang selanjutnya dikenal dengan nama Hukum Pemisahan Gen yang sealel. Maka sifat keriput yang dalam F₁ tidak muncul, akan muncul kembali pada F₂.

Dari hasil percobaan, akhirnya Mendel memperoleh dan menyusun beberapa hipotesis, yakni:

- a. Setiap sifat yang terjadi pada organisme dikendalikan oleh satu pasang faktor keturunan, dari induk jantan dan induk betina.
- b. Setiap pasang faktor keturunan menunjukkan bentuk alternatif sesamanya. Misalnya tinggi atau rendah; bulat atau keriput, merah atau putih; kuning atau hijau. Kedua bentuk alternatif tersebut dikenal sebagai *alel*.
- c. Apabila pasangan faktor itu terdapat bersama-sama dalam satu tanaman, faktor dominan akan mengalahkan resesif.
- d. Saat terjadi pembentukan gamet, pasangan faktor atau masing-masing alel akan memisah secara bebas.
- e. Individu murni mempunyai alel yang sama, yakni dominan saja atau resesif saja.

Dari hasil hipotesis tersebut Mendel memperkenalkan Hukum Mendel I yang dikenal juga sebagai Hukum Segregasi, yang berbunyi bahwa alel-alel akan berpisah secara bebas dari diploid menjadi haploid ketika pembentukan gamet.

Dari persilangan monohibrid tersebut di atas dapat disimpulkan bahwa perkawinan dua individu dengan satu sifat beda, adalah:

- a. Semua individu F1 adalah homogen (seragam).
- b. Apabila terjadi dominasi secara penuh, maka individu F1 mempunyai fenotip seperti induknya yang dominan.
- c. Ketika individu F1 yang heterozigotik itu membentuk gamet-gamet terjadilah pemisahan alel, sehingga gamet hanya memiliki salah satu alel saja.
- d. Manakala dominasi nampak sepenuhnya, maka perkawinan monohibrid ($Tt \times Tt$) menghasilkan keturunan yang memperlihatkan perbandingan fenotip 3:1 ($\frac{3}{4}$ tinggi : $\frac{1}{4}$ kerdil), tetapi memperlihatkan perbandingan genotip 1:2:1 ($\frac{1}{4} TT : \frac{2}{4} Tt : \frac{1}{4} tt$).

Persilangan atau perkawinan antara dua individu dengan satu sifat beda dikenal sebagai persilangan monohibrid. Dominasi dapat terjadi secara penuh (dominan) atau tidak penuh (kodominan). Masing-masing dominasi ini menghasilkan bentuk keturunan pertama (F1) yang berbeda. Persilangan monohibrid akan menghasilkan individu F1 yang seragam, apabila salah satu induk mempunyai sifat dominan penuh dan induk yang lain bersifat resesif. Apabila dilanjutkan dengan menyilangkan individu sesama F1, akan

menghasilkan keturunan (individu F2) dengan tiga macam genotipe dan dua macam fenotipe.

Sebaliknya, apabila salah satu induknya mempunyai sifat dominan tak penuh (intermediate), maka persilangan individu sesama F1 akan menghasilkan tiga macam genotipe dan tiga macam fenotipe. Contoh persilangan monohibrid dominan penuh terjadi pada persilangan antara kacang ercis berbunga merah dengan kacang ercis berbunga putih. Mendel menyilangkan kacang ercis berbunga merah (MM) dengan kacang ercis berbunga putih (mm) dan dihasilkan individu F1 yang seragam, yaitu satu macam genotipe (Mm) dan satu macam fenotipe (berbunga merah). Pada waktu F2, dihasilkan tiga macam genotipe dengan perbandingan 25% MM: 50% Mm : 25% mm atau 1 : 2 : 1 dan dua macam fenotipe dengan perbandingan 75% berbunga merah : 25% berbunga putih atau merah : putih = 3 : 1. Pada individu F2 ini, yang berfenotipe merah dapat dibedakan.

Contoh persilangan monohibrid dominan tak penuh adalah persilangan antara tanaman bunga pukul empat berbunga merah dengan tanaman bunga pukul empat berbunga putih. Mendel menyilangkan tanaman bunga pukul empat berbunga merah (MM) dengan putih (mm) menghasilkan individu F1 yang seragam, yaitu satu macam genotipe (Mm) dan satu macam fenotipe (berbunga merah muda). Pada individu F2 dihasilkan tiga macam genotipe dengan perbandingan 25% MM : 50% Mm : 25% mm atau 1 : 2 : 1 dan 3 macam fenotipe dengan perbandingan 25% berbunga merah : 50% berbunga merah muda : 25% berbunga putih atau merah : merah muda : putih = 1 : 2 : 1. Pada individu F2 ini yang berfenotipe merah dan putih selalu homozigot, yaitu MM dan mm. Persilangan antara tanaman bunga pukul empat berbunga merah dominan dengan bunga pukul empat berbunga putih resesif.

2. Persilangan Dihibrid

Persilangan antara dua individu dengan dua sifat beda dikenal dengan nama persilangan dihibrid. Pada persilangan dihibrid ini Mendel menyilangkan tanaman ercis dengan biji yang mempunyai dua sifat beda, yaitu bentuk dan warna biji. Menurut Suryo persilangan dihibrid merupakan persilangan yang menghasilkan dua karakter yang berlainan. Hukum Mendel II menyatakan bahwa selama pembentukan gamet, masing-masing pasangan alel dalam satu lokus berpadu secara bebas dengan alel-alel dari lokus lainnya dan segregasi alel-alel pada satu lokus yang lain.³⁸ Selanjutnya Hukum Mendel II dikenal

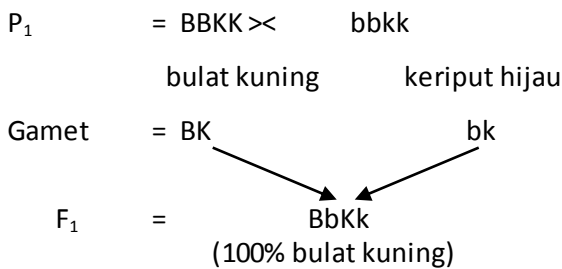
³⁸ *Ibid.* Suryo. *Genetika untuk Starata 1*, 23

dengan nama hukum pengelompokan gen secara bebas. Kedua sifat beda tersebut ditentukan oleh gen-gen sebagai berikut:

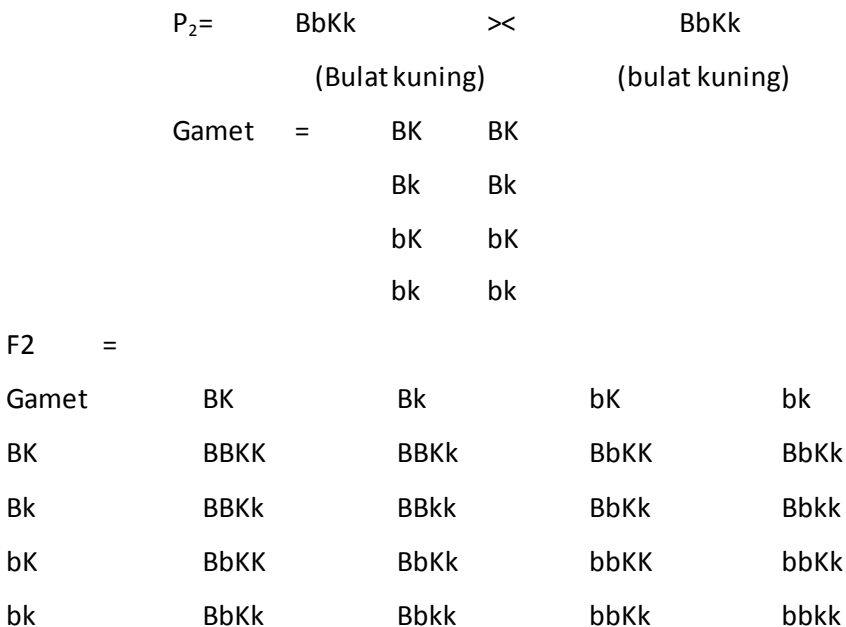
- B = gen yang menentukan biji bulat.
- b = gen yang menentukan biji keriput.
- K = gen yang menentukan biji berwarna kuning.
- k = gen yang menentukan biji berwarna hijau.

Contoh persilangan dihibrid :

Mendel menemukan pada biji tanaman ercis bulat (B) dominan terhadap keriput (b) dan berwarna kuning (K) dominan terhadap warna hijau (k). Persilangan galur murni kedua alel tersebut tampak pada pola berikut ini.



Persilangan sesama tanaman ercis berbiji bulat kuning di hasilkan:



Perbandingan genotip F₂

$$\begin{aligned} &= \text{B_K_} : \text{B_kk} : \text{bbK_} : \text{bbkk} \\ &= 9 : 3 : 3 : 1 \end{aligned}$$

Perbandingan fenotip F₂

$$\begin{aligned} &= \text{biji bulat kuning} : \text{biji bulat hijau} : \text{biji keriput kuning} : \text{biji keriput hijau} \\ &= 9 : 3 : 3 : 1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Persentase biji bulat kuning} &= \frac{9}{16} \times 100\% \\ &= 56,25\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Persentase biji bulat hijau} &= \frac{3}{16} \times 100\% \\ &= 18,75\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Persentase biji keriput kuning} &= \frac{3}{16} \times 100\% \\ &= 18,75\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Persentase biji keriput hijau} &= \frac{1}{16} \times 100\% \\ &= 6,25\% \end{aligned}$$

Apabila tanaman kapri yang berbiji bulat kuning (BBKK) disilangkan dengan kapri yang berbiji keriput hijau (bbkk), semua tanaman F₁ berbiji bulat kuning (100%). Namun jika tanaman F₁ mengadakan penyerbukan sendiri, maka pada F₂ akan muncul 16 kombinasi yang terdiri dari 4 (empat) jenis fenotipe, yakni tanaman berbiji bulat kuning, bulat hijau, ke riput kuning, dan keriput hijau. Pada percobaan ini Mendel mendapatkan 315 tanaman berbiji bulat kuning, 100 tanaman berbiji bulat hijau, 101 tanaman berbiji keriput kuning, dan 32 tanaman keriput hijau. Angka-angka tersebut menunjukkan suatu perbandingan fenotipe yang mendekati 9 : 3 : 3 : 1.

Dengan demikian Hukum Mendel II atau Hukum Pengelompokan Gen secara Bebas yang menyatakan bahwa:

- Setiap gen berpasangan secara bebas dengan gen yang lain untuk membentuk alela.
- Pada keturunan pertama menunjukkan sifat fenotipe yang dominan.

- c. Sedangkan keturunan kedua menunjukkan fenotipe dominan dan resesif dengan perbandingan 9 : 3 : 3 : 1

G. Manfaat Pewarisan Sifat

1. Pewarisan Sifat yang Terpaut dalam Kromosom Seks

Gen yang bertempat pada kromosom seks disebut gen terpaut seks. Sifat gen yang terpaut dalam seks sifatnya bergabung dengan jenis kelamin tertentu dan diwariskan bersama kromosom seks. Umumnya gen terpaut seks terdapat pada kromosom X, tetapi ada juga yang terpaut pada kromosom Y.

2. Buta Warna

Orang yang menderita buta warna tidak dapat membedakan warna-warna tertentu, buta warna merah hijau, tidak mampu membedakan warna merah dan hijau. Buta warna ini dikendalikan oleh gen resesif. Gen ini terpaut dalam kromosom X. Terdapat 5 kemungkinan genotipe, yaitu: wanita karier atau pembawa artinya wanita yang secara fenotipe normal tetapi secara genotipe dia membawa alel sifat resesif untuk buta warna. Coba kalian buat diagram penurunan sifat, kepada siapa gen buta warna seorang ibu diwariskan. (Ibu buta warna menikah dengan ayah normal).

3. Hemofilia

Hemofilia merupakan kelainan seseorang darahnya tidak dapat/sulit membeku bila luka. Luka kecil pun dapat menyebabkan penderita meninggal karena terjadi pendarahan yang terus-menerus. Gen yang mengendalikan sifat ini adalah gen resesif dan terpaut dalam kromosom X. Dalam keadaan homozigot resesif gen ini bersifat letal (menimbulkan kematian). Beberapa kemungkinan susunan genotype adalah: golongan darah sistem ABO.

Penggolongan darah sistem ABO berdasarkan adanya dua macam antigen, yaitu antigen A dan antigen B serta dua macam antibodi, yaitu anti-A dan anti-B. Antigen merupakan glikoprotein yang terdapat pada permukaan sel darah merah. Antibodi merupakan molekul protein yang dihasilkan oleh sel-B (limfosit-B) untuk merespon adanya antigen. Antibodi terdapat pada serum atau cairan darah.

BAB V

GENETIKA II

A. Uraian

Ekspresi gen adalah proses dimana informasi dari gen yang digunakan dalam sintesis produk gen fungsional. Produk-produk ini seringkali protein, tetapi dalam non-protein coding gen seperti gen rRNA atau gen tRNA, produk adalah RNA fungsional. Proses ekspresi gen digunakan oleh semua kehidupan yang dikenal - eukariota (termasuk organisme multisel), prokariota (bakteri dan archaea) dan virus - untuk menghasilkan mesin makromolekul untuk hidup. Proses sintesis protein sangat rumit dan mempergunakan molekul-molekul serta organel sel seperti asam amino, DNA, asam ribonukleat non-genetik (RNA), ribosom dan enzim-enzim. Sintesis protein melibatkan dua peristiwa penting, ialah proses transkripsi (pemindahan informasi genetik dari DNA ke RNA) dan translasi (pemindahan informasi genetik dari RNA ke protein).

Teknologi DNA merupakan kumpulan teknik yang digunakan untuk mengkombinasikan. Perkembangan genetika mulai terjadi pada masa pra-Mendel, masa Mendel, pasca Mendel dan pada masa modern. Penerapan aplikasi rekayasa genetika telah melahirkan revolusi baru dalam berbagai bidang kehidupan manusia yang dikenal sebagai revolusi gen. Penerapan rekayasa genetika dalam kehidupan manusia menghasilkan berbagai produk yang dapat meningkatkan kesejahteraan umat manusia sesuai dengan kebutuhannya. Produk teknologi tersebut berupa organisme transgenik atau organisme penghasil modifikasi genetik (OHMG), yang dalam bahasa Inggris dengan istilah *Genetically Modified Organisme* (GMO).

Teknologi DNA rekombinan, salah satunya yaitu yang menyebutkan bahwa teknologi DNA rekombinan adalah pembentukan kombinasi materi genetik yang baru dengan penyisipan molekul DNA ke dalam suatu vektor sehingga memungkinkan untuk terintegrasi dan mengalami perbanyakan di dalam suatu sel organisme lain yang berperan sebagai sel inang. Teknologi DNA rekombinan telah memberikan suatu cara pendekatan yang sangat kuat untuk memahami pengaturan ekspresi gen pada sel eukariotik yang sangat rumit.

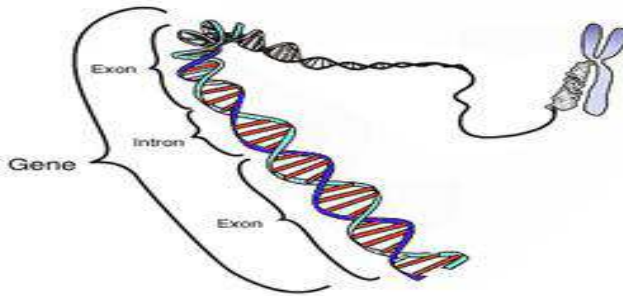
Dengan menggunakan metode hibridisasi asam nukleat, orang dapat mendeteksi molekul mRNA dengan cara mereaksikan molekul DNA pasangannya (hibridisasi).

B. Penyelarasan Ekspresi Gen

Pada awal abad ke-20 ketika ilmu pengetahuan biokimia mulai berkembang, ahli genetika mulai tertarik untuk mengetahui lebih mendalam mengenai hakekat materi genetik, khususnya mengenai sifat biokimianya. Periode tahun 1920 sampai 1940, terungkap bahwa senyawa kimia yang berperan sebagai materi genetik adalah *deoxyribonucleid acid* (DNA) atau asam deoksiribosa nukleat (ADN). Pada tahun 1953 seorang ahli kimia J.D.Watson dan F.H.C. Crick menemukan model struktur molekul DNA, sehingga mulai tahun 1953 dimulailah era genetika yang baru, yang dikenal dengan genetika molekuler.

Genetika berasal dari kata genetikos yang artinya "*Genitive*". Genetika adalah bagian dari cabang Biologi yang mempelajari masalah gen, keturunan, dan variasi pada makhluk hidup. Termasuk juga tentang bagaimana proses seseorang transfer gen dari induk kepada keturunannya. Pada makhluk hidup, informasi genetik ini dibawa dalam kromosom, yang mana ada di dalam struktur kimia molekul DNA tertentu.

Istilah gen berasal dari bahasa Belanda gen adalah unit pewarisan sifat (hereditas) bagi makhluk hidup. Jadi gen adalah suatu yang berhubungan dengan pewarisan sifat yang berada pada lokasi tertentu (genom), sehingga gen dapat dihubungkan dengan fungsi sebagai regulator (pengendali), sasaran transkripsi, atau peran-peran fungsional lainnya. Gen diwariskan oleh satu individu kepada keturunannya melalui suatu proses reproduksi, bersama-sama dengan DNA yang membawanya. Dengan demikian, informasi yang menjaga keutuhan bentuk dan fungsi kehidupan suatu organisme dapat terjaga. Bentuk fisiknya urutan DNA yang menyandi suatu protein, polipeptida, atau seuntai *Ribonucleid acid* (RNA) atau asam asam ribonukleat (ARN) yang memiliki fungsi bagi organisme. Berikut adalah gambar sebuah gen.



Gambar 5.1. Struktur sebuah gen

Penyelarasan adalah segala sesuatu yang mengekspresikan atau tidak membedakan satu dengan yang lainnya semuanya sama rata. Ekspresi gen merupakan rangkaian proses DNA yang mengarahkan sintesis protein (atau dalam beberapa kasus, hanya RNA). Ekspresi gen mengodekan protein mencakup dua tahap, transkripsi, dan translasi. Ekspresi gen melibatkan proses-proses serupa pada ketiga dominan makhluk hidup.³⁹

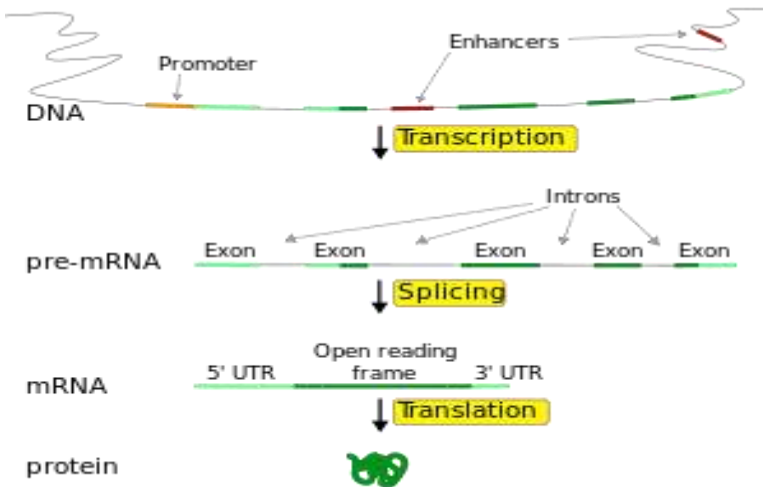
Ekspresi gen adalah proses informasi dari gen yang digunakan dalam sintesis produk gen fungsional. Produk-produk ini seringkali protein, tetapi dalam non-protein coding gen seperti gen rRNA atau gen tRNA, produk adalah RNA fungsional. Proses ekspresi gen digunakan oleh semua kehidupan yang dikenal - eukariota (termasuk organisme multisel), prokariota (bakteri dan archaea) dan virus-untuk menghasilkan mesin makromolekul untuk hidup.

Proses ekspresi gen dalam organisme dalam tubuh manusia terdapat banyak gen (unit dasar hereditas dalam kehidupan organisme) yang nantinya akan terekspresi menjadi fenotip (sifat yang tampak), misalnya rambut hitam, kulit sawo matang, hidung mancung, dan sebagainya. Bagaimana suatu gen yang ukurannya sangat kecil dapat menjadikan rambut kita berwarna hitam. Proses metabolisme merupakan proses kimia yang menandai unsur hidup, kebanyakan berlangsung dengan perantara suatu zat yang dinamakan enzim. Archibald E. Garrot berpendapat bahwa metabolisme itu berlangsung karena terjadinya reaksi berurutan untuk tiap tahap reaksi kimia ini diperlukan enzim tertentu sebagai katalisator, sedangkan terbentuknya tiap enzim dikontrol oleh satu atau beberapa gen. Jika gen yang dibutuhkan oleh enzim tidak ada,

³⁹ Neil A. Campbell., Jane B Reece. *Biologi*. Jilid 1 (Jakarta: Penerbit Erlangga, 2008), 352

maka enzim tersebut tidak dapat terbentuk, sehingga metabolisme tidak mungkin dilanjutkan.⁴⁰

Ekspresi genetik pada dasarnya adalah proses penyeleksian mRNA



Gambar 5.2. Proses Penyeleksian mRNA

Ekspresi gen adalah proses kode-kode informasi yang ada pada gen diubah menjadi protein-protein yang beroperasi hanya di dalam sel. Ekspresi gen terdiri dari dua tahap, yakni:

- Transkripsi merupakan istilah umum untuk sintesis RNA jenis apapun dengan cetakan DNA. Transkripsi (*transcription*) adalah sintesis RNA di bawah pengaruh DNA. Kedua asam nukleat menggunakan bahasa yang sama dan informasi hanya ditranskripsikan atau dicopy dari molekul lain. Tipe molekul RNA ini dikenal sebagai RNA duta (*messenger RNA*), karena mengandung informasi genetik dari DNA ke mekanisme pensintesis protein sel.⁴¹
- Translasi (*translation*) adalah sintesis polipeptida yang dipengaruhi oleh mRNA. Sel mestinya mentranslasi sekuens bahasa molekul mRNA menjadi sekuens asam amino polipeptida. Tempat translasi terdapat

⁴⁰ Suryo. *Genetika untuk Strata 1*. (Yogyakarta: Gadjah Mada University Press, 2013).

⁴¹ *Op.cit.* Neil A. Campbell dan Jane B. Reece. *Biologi*, 355

di ribosom, partikel-partikel kompleks yang memfasilitasi penatan teratur asam amino menjadi rantai polipeptida.⁴²

Proses pembuatan protein menyangkut salah satu dogma pusat dari biologi molekuler yang menyatakan bahwa informasi genetik berpindah dari asam nukleat ke protein. Dogma di sini adalah suatu kerangka kerja untuk memahami urutan transfer informasi antara biopolimer (DNA, RNA, protein) dengan metode yang paling umum pada makhluk hidup.

Pada umumnya, dogma sentral tersebut menyatakan bahwa semua informasi genetika terdapat pada DNA yang akan digunakan untuk menghasilkan molekul RNA melalui transkripsi dan sebagai informasi untuk menghasilkan protein melalui proses translasi.⁴³

Selanjutnya dapat dicermati pada diagram berikut ini:



Gambar 5.3. Proses Transkripsi dan Translasi DNA, RNA dan Protein

Proses transkripsi DNA menjadi mRNA dan translasi mRNA menjadi sebuah polipeptida disebut dogma sentral (*central dogma*). Dogma sentral berlaku pada prokariot dan eukariot. Namun, pada eukariot ada tahap tambahan yang terjadi di antara transkripsi dan translasi yang disebut tahap pre-mRNA. Tahap pre-mRNA adalah untuk menyeleksi mRNA yang akan dikirim keluar nukleus untuk ditranslasikan di ribosom. Ekson merupakan mRNA yang akan dikirim keluar nukleus untuk ditranslasikan, sedangkan intron merupakan mRNA yang akan tetap berada di dalam nukleus karena kemungkinan mRNA tersebut akan membentuk protein yang tidak fungsional (tidak berguna) jika ditranslasikan. Intron kemudian akan terurai kembali untuk membentuk rantai mRNA baru. Pengawasan Genetik dari metabolisme, proses metabolisme yaitu peroses kimia yang menandai unsur hidup kebanyakan berlangsung dengan prantaraan suatu zat yang dinamakan enzim. Segera setelah penemuan kembali dari hasil percobaan mendel pada tahun 1900, seorang dokter ahli biokimia bangsa inggris bernama Archibald E. Garod mempelajari beberapa penyakit metabolisme pada manusia. Garood berpendapat bahwa metabolosme itu berlangsung karena terjadinya reaksi

⁴² *Ibid.* Neil A. Campbell dan Jane B. Reece. *Biologi*, 356

⁴³ *Op.cit.* Suryo. *Genetika untuk Strata 1*, 101

kimia yang berurutan. Untuk tiap tahap reaksi kimia ini diperlukan reaksi enzim tertentu sebagai katalisator, karna terbentuknya tiap enzim dikontrol oleh satu atau beberapa gen, jika gen yang dibutuhkan enzim tertentu tidak ada, maka enzim tertentu tidak dapat terbentuk, sehingga metabolisme tidak mungkin dilanjutkan. Terjadilah suatu blok metabolisme. Hipotesis Garrod yang menyatakan suatu enzim itu dikontrol oleh sebuah gen dikenal sebagai hipotesa sebuah gen – sebuah enzim adapun blok metabolisme akan terjadi apabila ada gen yang mengalami mutasi. Hipotesis ini dikenal sebagai hipotesis sebuah gen mutan, sebuah blok metabolisme. Dr. G.W. Beadle dan E.L. Tatum yang mengadakan percobaan dengan cendawan *Neurospora* dan mengikuti banyak reaksi yang terjadi pada metabolisme yang dapat membenarkan kedua hipotesa kedua tersebut. Adanya blok metabolisme mengakibatkan terjadinya kesalahan metabolisme yang oleh Garrod dinamakan kesalahan metabolisme bawaan.⁴⁴

Pengaruh gen terhadap fenotip ada dua, yaitu ekspresi penetrasi dan ekspresi variabel. Gen dikatakan ekspresi variabel apabila derajat ekspresi fenotipnya berada dari satu individu ke individu lainnya. Apabila hadir gen yang memiliki ekspresi variabel itu tidak selalu memperlihatkan pengaruh fenotip yang tidak diketahui, maka gen tersebut dikatakan memiliki penetrasi tidak lengkap dan adakalanya fenotip itu dipengaruhi oleh lingkungan yang dikenal dengan istilah fenokopi.

Pada uraian mengenai DNA telah disebutkan bahwa DNA berfungsi sebagai heterokatalis (mensintesis molekul lain)⁴⁵. DNA yang terletak di dalam nukleus merupakan suatu cetakan kode genetik yang menghasilkan informasi genetik. Kode genetik disusun oleh urutan basa nitrogen (A, T, G, dan C). Dalam sintesis protein, kode-kode genetik dalam DNA disalin menjadi mRNA. Proses ini disebut transkripsi.

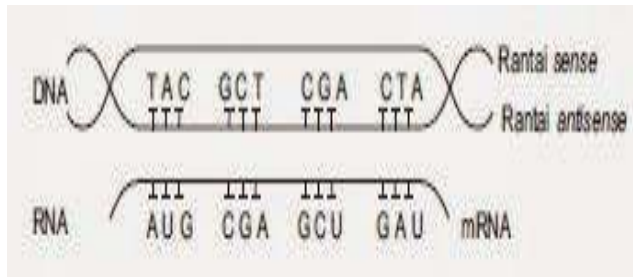
Proses ini diawali dengan melekatnya RNA polimerase pada molekul DNA sehingga sebagian rantai *double helix* DNA membuka. Akibatnya, salah satu rantai DNA yang membuka tersebut mencetak RNA. Rantai DNA yang mengandung kode-kode genetik (kodon) dan dapat mencetak mRNA disebut rantai sense. Rantai DNA yang tidak mencetak mRNA disebut rantai antisense. Misalnya urutan basa N pada rantai DNA terdiri atas TAC, GCT, CGA, dan CTA maka urutan basa N pada rantai mRNA yaitu AUG, CGA, GCU, dan GAU⁴⁶.

⁴⁴ R.W. Old dan S.B Primrose, *Prinsip-Prinsip Manipulasi Gen*. (Jakarta: Universitas Indonesia Press, 2003). 248

⁴⁵ *Op.cit.* Suryo. *Genetika untuk Strata 1*, 72

⁴⁶ *Ibid.* Surya. *Genetika*, 78

Perhatikan susunan DNA dan RNA berikut.



Gambar 5.4. Susunan DNA dan RNA

Setelah disalin, mRNA keluar dari nukleus menuju sitoplasma. mRNA tidak dapat mengenali suatu asam amino secara langsung. Oleh karena itu, diperlukan tRNA untuk dapat membaca kode-kode yang dibawa mRNA. Di dalam sitoplasma banyak terdapat tRNA, asam amino dan enzim amino asil sintetase. Asam amino tersebut diaktifkan menggunakan ATP (*Adenosin Trifosfat*) dan enzim amino asil sintesis sehingga dihasilkan Amino asil Adenosin monofosfat (AA-AMP) dan fosfat organik.

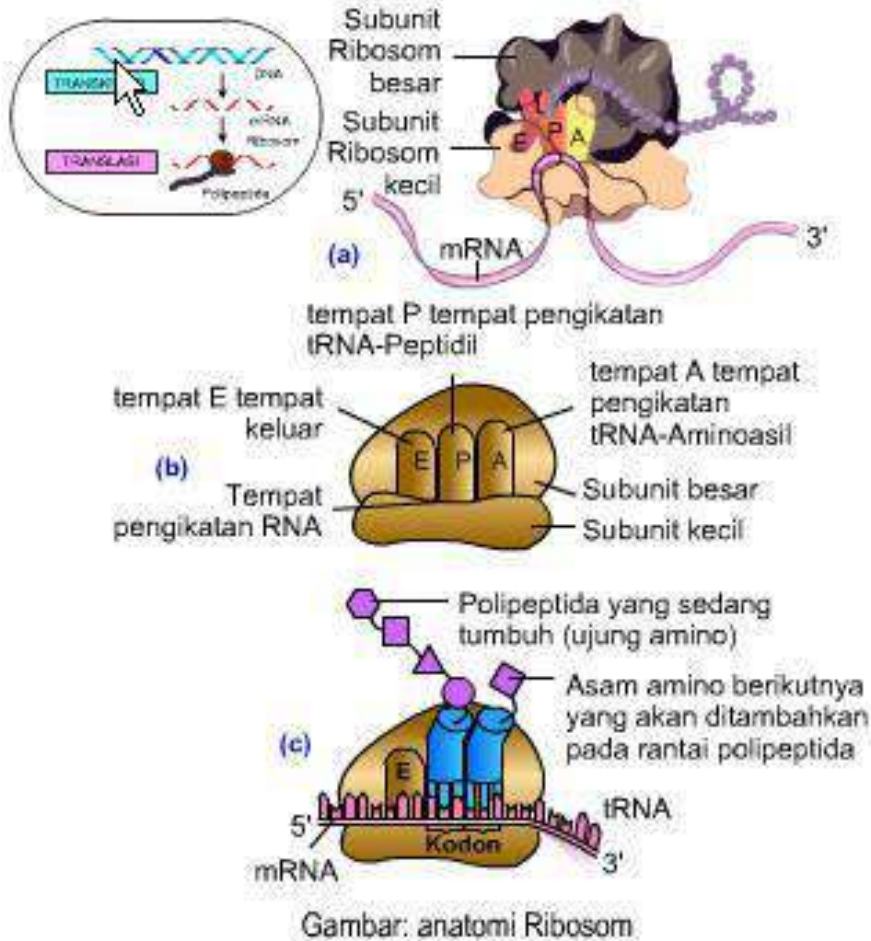
Selanjutnya Aminoasil Adenosin monofosfat diikat oleh t-RNA dan dibawa ke ribosom. Setiap tRNA memiliki tiga basa N dan asam amino, tiga basa N tRNA akan berpasangan dengan tiga basa N mRNA yang sesuai. mRNA merupakan susunan kodon yang panjang. Setiap tRNA akan menerjemahkan tiga basa. Setelah tRNA pertama melepaskan diri, datang tRNA selanjutnya, begitu terus-menerus sampai kodon pada mRNA habis. Asam amino yang terbentuk selama penerjemahan oleh tRNA akan membentuk suatu ikatan. Bagian basa N pada tRNA yang menerjemahkan kode yang dibawa mRNA disebut antikodon.

Proses sintesis protein sangat rumit dan kompleks yang melibatkan molekul-molekul serta organela-organela sel, seperti: asam amino, DNA, asam ribonukleat non-geneyik (RNA), ribosom dan enzim-enzim lain.

C. Sintesis Protein

Protein termasuk senyawa organik kompleks yang memiliki molekul tinggi yang merupakan polimer yang berasal dari monomer-monomer asam amino yang dihubungkan dengan oleh ikatan peptida satu sama lain serta mengandung informasi genetik. Beberapa peranan dan fungsi dari protein antara lain: membangun organisasi struktural dan fungsional sel; sintesis

hormon, enzim serta antibody; sumber energi; membentuk/memperbaiki sel-sel dan jaringan yang rusak.



Gambar 5.5. Anatomi Organela Ribosom

Protein struktural memproduksi berbagai komponen sel termasuk komponen luar sel seperti kutikula dan serabut. Protein fungsional, seperti enzim dan hormon dibutuhkan pada hampir seluruh peristiwa metabolisme, biosintesa, pertumbuhan dan perkebangbiakan dari sel.

BAB VI

METABOLISME

A. Uraian

Di dalam proses penyediaan energi yang terjadi pada tumbuh-tumbuhan, hewan dan manusia, melalui rangkaian atau mekanisme suatu reaksi kimia. Seluruh mekanisme reaksi kimia yang terjadi dalam sel makhluk hidup, dikenal sebagai metabolisme. Metabolisme merupakan rangkaian reaksi biokimia yang terjadi di dalam sel melalui reaksi penyusunan dan penguraian energi yang diawali oleh substrat dan diakhiri dengan produk akhir. Reaksi penyusunan energi selanjutnya disebut anabolisme dan reaksi penguraian atau pembongkaran energi dikenal sebagai katabolisme.

Dalam reaksi biokimia terjadi perubahan energi dari satu bentuk ke bentuk lain, misalnya energi kimia dalam bentuk senyawa *Adenosin Trifosfat* (ATP) diubah menjadi energi gerak, sehingga setiap makhluk hidup dapat melakukan berbagai aktivitas seperti berjalan, berlari, dan melakukan aktivitas gerak lainnya. Proses metabolisme yang terjadi di dalam sel makhluk hidup memerlukan enzim. Karakteristik enzim yang bekerja secara spesifik sekaligus mempercepat reaksi kimia yang menghasilkan senyawa ATP dan senyawa-senyawa lain yang berenergi tinggi seperti yang terjadi pada proses respirasi, fotosintesis, kemosintesis, sintesis protein, dan lemak.

Setiap makhluk hidup sangat membutuhkan makanan sebagai sumber energi dan tenaga yang dibutuhkan oleh tubuh makhluk hidup sekaligus dalam mempertahankan kelangsungan hidupnya. Makanan yang dibutuhkan tersebut akan masuk ke dalam tubuh makhluk hidup melalui organ sistem pencernaan. Selanjutnya di dalam tubuh, makanan tersebut akan mengalami proses perombakan dan zat-zat yang terkandung dalam makanan diuraikan menjadi sumber energi. Produk dari penguraian zat-zat makanan tersebut yang menjadi sumber tenaga untuk melakukan berbagai aktivitas.

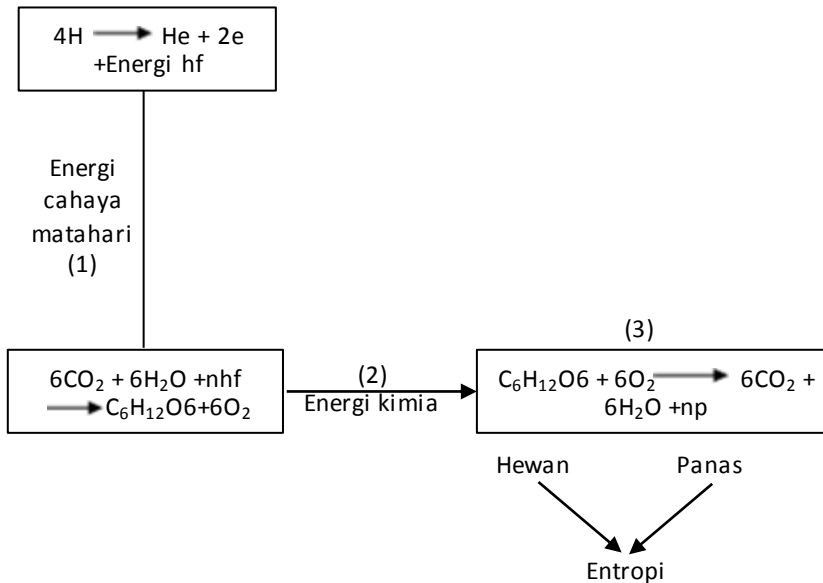
B. Metabolisme

Metabolisme merupakan keseluruhan rangkaian proses reaksi kimia meliputi penyusunan dan penguraian zat-zat terjadi di dalam sel makhluk hidup, mulai dari makhluk bersel satu sampai makhluk hidup yang susunan tubuhnya sangat kompleks. Di dalam proses ini makhluk hidup dapat memanfaatkan, mengubah dan menggunakan senyawa kimia yang berasal dari lingkungan sekitarnya untuk mempertahankan kelangsungan hidupnya.

Metabolisme meliputi proses penyusunan dan penguraian senyawa atau zat-zat yang diperlukan oleh tubuh agar tubuh dapat menjalankan fungsinya. Semua reaksi metabolisme membutuhkan dan dipercepat oleh enzim sehingga enzim dikenal sebagai biokatalisator. Misalnya, penguraian asam karbonat menjadi air dan karbondioksida; proses pembusukan dan pengeluaran zat kimia dari dan ke dalam sel melalui membran. Hal lain yang penting dari metabolisme adalah kemampuan detoksifikasi, yakni mekanisme perubahan zat beracun menjadi senyawa yang tak beracun yang dapat dikeluarkan dari tubuh.

Tahapan proses metabolisme terdiri atas anabolisme dan katabolisme. Anabolisme merupakan proses sintesis atau penyusunan molekul kimia yang berukuran kecil (sederhana) menjadi molekul lebih besar (kompleks), dan memerlukan energi. Katabolisme suatu proses perombakan atau penguraian molekul yang berukuran besar menjadi molekul lebih kecil dengan melepaskan energi. Jadi, peristiwa anabolisme menggunakan reaksi reduksi dan peristiwa katabolisme menggunakan reaksi oksidasi. Seringkali hasil akhir anabolisme merupakan senyawa pemula untuk proses katabolisme, karena itu mekanisme masuk dan keluarnya zat kimia melalui membran sel mempunyai arti penting dalam mempertahankan keseimbangan energi dan materi di dalam tubuh.

Kerja metabolisme memerlukan sebagian besar enzim sebagai katalisator baik yang terjadi pada proses anabolisme maupun katabolisme. Salah satu bentuk kerja enzim adalah mempercepat reaksi kimia, misalnya perubahan energi kimia dalam bentuk senyawa ATP dan senyawa-senyawa lain yang mengandung energi tinggi. Salah satu molekul kimia yang memiliki energi tinggi adalah *Adenosin Trifosfat (ATP)* yang berasal dari perubahan molekul glukosa melalui rangkaian reaksi kimia yang rumit, panjang dan kompleks. Energi yang terkandung dalam glukosa berupa energi ikatan kimia yang berasal dari proses transformasi energi sinar matahari. Berikut transformasi energi pada proses fotosintesis:



Gambar 6.1. Transportasi Energi pada Proses Fotosintesis

Proses fotosintesis membutuhkan energi cahaya matahari dalam bentuk radiasi dalam proses selanjutnya terjadi perubahan energi yakni perubahan energi cahaya matahari menjadi energi kimia dalam ikatan senyawa organik. Lambang f merupakan frekuensi cahaya dan lambang h merupakan konstanta Planck, yang berkaitan dengan energi dan frekuensi.

Pada waktu terjadinya proses respirasi sel, energi kimia dalam senyawa kimia ikatan fosfat berubah menjadi persenyawaan yang berupa ATP yang sangat kaya energi. Sehingga ATP dapat difungsikan untuk kerja mekanis, listrik, dan kimia. Pada akhirnya energi mengalir ke sekeliling sel dan hilang sebagai energi panas dalam bentuk "entropi".

Transformasi energi dalam biologi dapat dibedakan menjadi tiga proses berikut:

1. Transformasi Energi oleh Klorofil

Melalui proses fotosintesis energi radiasi cahaya matahari yang ditangkap oleh zat hijau daun atau klorofil akan diubah menjadi energi kimia. Energi kimia tersebut digunakan untuk menyusun atau mensintesis CO_2 dan H_2O menjadi glukosa dan senyawa kompleks lainnya sebagai energi pengikat dan penghubung inti-inti atom yang tersimpan dalam bentuk senyawa karbohidrat. Karena itu, energi radiasi cahaya matahari yang berbentuk energi kinetik diubah menjadi energi potensial dan energi kimiawi yang disimpan

dalam molekul karbohidrat dan bahan makanan lainnya sebagai energi ikatan yang menghubungkan atom-atom bakunya.

2. Transformasi Energi oleh Mitokondria

Di dalam sel terdapat salah satu organela yang disebut mitokondria, dan di dalam mitokondria energi kimia digunakan untuk mengubah karbohidrat dan senyawa lainnya sebagai energi ikatan fosfat melalui respirasi sel untuk oksidasi DNA, RNA, protein, dan lemak. Mitokondria banyak terdapat pada sel-sel otot dan sel-sel saraf makhluk hidup.

3. Transformasi Energi oleh Sel

Manakala sel sedang melakukan berbagai fungsinya, maka energi kimiawi dari ikatan fosfat akan terlepas dan mengalami perubahan bentuk menjadi energi lain seperti energi mekanik untuk kerja kontraksi otot, energi listrik untuk meneruskan impuls saraf, energi sintesis untuk membangun senyawa pertumbuhan, serta sisanya akan mengalir ke sekeliling sel dan hilang sebagai energi panas berupa entropi.

Ketika metabolisme berlangsung dalam sel makhluk hidup, terdapat keterlibatan komponen penting yang berperan di dalamnya untuk menghasilkan energi tinggi berupa *Adenosin Trifosfat* (ATP) dan reaksi oksidasi reduksi (pelepasan dan pembebasan) elektron.

Adenosin Trifosfat merupakan salah satu molekul kimia yang mengandung energi yang sangat tinggi. Dalam reaksi katabolisme energi yang dihasilkan tidak dapat langsung digunakan oleh, melainkan harus diubah terlebih dahulu dalam bentuk ATP. Sebab tujuan utama dari reaksi metabolisme adalah untuk membebaskan energi yang terkandung di dalam senyawa sumber, yakni *Adenosin Trifosfat*.

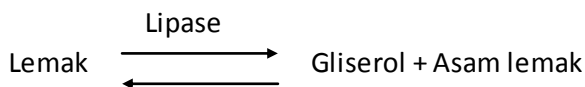
C. Komponen-komponen yang Berperan dalam Metabolisme

Agar proses reaksi metabolisme di dalam sel makhluk hidup berlangsung sesuai dengan mekanismenya, maka terdapat komponen-komponen penting yang sangat berperan sebagai penunjang berlangsungnya reaksi metabolisme secara optimal. Komponen-komponen yang dalam peristiwa metabolisme yang dimaksud terdiri atas enzim, adenosin trifosfat, dan reaksi oksidasi reduksi.

1. Enzim

Enzim merupakan senyawa organik yang dihasilkan oleh sel dan berfungsi sebagai katalisator (mempercepat kerja enzim) yang disebut biokatalisator. Jadi, enzim dapat mengatur dan mengendalikan kecepatan ribuan reaksi kimia yang berlangsung di dalam sel. Walaupun enzim diproduksi dalam sel, namun untuk bertindak sebagai katalis enzim tidak harus berada di dalam sel. Reaksi-reaksi kimia yang dapat dikendalikan oleh enzim antara lain respirasi, fotosintesis, pertumbuhan, dan perkembangan, kontraksi otot, pencernaan dan fiksasi nitrogen. Secara kimia enzim terdiri atas dua bagian (enzim lengkap/holoenzim), yaitu bagian protein (apoenzim) dan bagian bukan protein (gugus prostetik) yang dihasilkan dalam sel makhluk hidup. Jika gugus prostetiknya berasal dari senyawa organik kompleks (misalnya, NADH, FADH, koenzim A dan vitamin B) disebut koenzim, apabila berasal dari senyawa anorganik (misalnya, besi, seng, tembaga) disebut kofaktor.

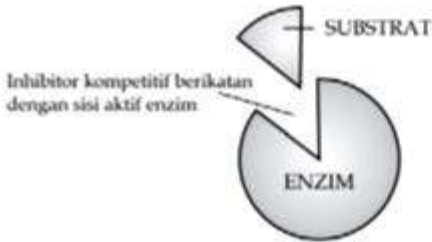
Senyawa organik yang merupakan enzim memiliki ciri-ciri yaitu enzim adalah protein, diperlukan dalam jumlah yang sedikit, dapat digunakan berulang kali, bekerja secara khusus, rusak oleh panas, dan sensitif terhadap keadaan lingkungan yang terlalu asam atau terlalu basa. Enzim memiliki sifat khusus, yaitu hanya dapat mengkatalisis suatu reaksi tertentu, sebagai contoh enzim lipase hanya dapat mengkatalisis reaksi perubahan dari lemak menjadi gliserol dan asam lemak. Reaksinya sebagai berikut.



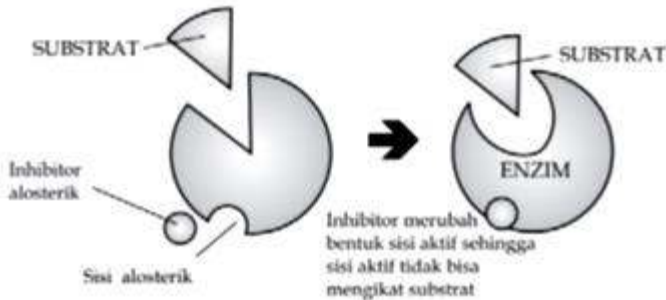
Gambar 6.2. Perubahan Lemak menjadi Gliserol

Sifat khusus enzim lainnya adalah tidak ikut bereaksi, artinya enzim hanya memproses substrat (contohnya, lemak) menjadi produk (contohnya, gliserol dan asam lemak) tanpa ikut mengalami perubahan dalam reaksi itu. Bahan tempat kerja enzim disebut substrat dan hasil dari reaksi disebut sebagai produk. Dengan demikian enzim dapat digunakan kembali untuk mengkatalisis reaksi yang sama berikutnya.

PENGHAMBATAN KOMPETITIF

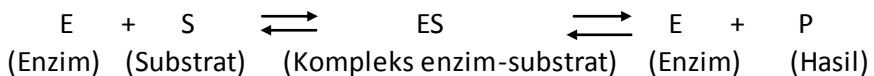


PENGHAMBATAN NON KOMPETITIF



Gambar 6.3. Mekanisme Kerja Enzim

Secara sederhana cara kerja enzim dapat digambarkan dengan kunci dan gembok. Kompleks enzim dapat tumbuh pada substrat karena pada permukaan enzim terdapat sisi aktif. Bagian yang aktif tersebut mempunyai konfigurasi aktif tertentu dan hanya substrat tertentu saja yang dapat bergabung dan menyebabkan enzim dapat bekerja secara spesifik. Secara sederhana reaksi enzim dituliskan:



Enzim merupakan senyawa kimia yang mempunyai beberapa sifat, antara lain:

- Termolabil, artinya enzim tidak tahan panas sehingga mudah mengalami perubahan dalam kondisi lingkungan yang ekstrim (suhu terlalu tinggi ataupun terlalu rendah).
- Biokatalisator, artinya enzim mempermudah dan mempercepat berlangsungnya reaksi kimia di dalam sel organisme.

- c. Spesifik, dimana kerja enzim hanya mampu mempengaruhi reaksi kimia tertentu pada substrat tertentu.
- d. Kadar minimum, artinya enzim sangat penting peranannya namun hanya diperlukan dalam jumlah sedikit untuk bisa melaksanakan fungsinya
- e. Reversibel, mengandung makna enzim bisa bekerja pada reaksi bolak balik Misalnya enzim lipase akan mempengaruhi reaksi penguraian lipid menjadi asam lemak dan gliserol. Sebaliknya, penyusunan senyawa lemak dari asam lemak dan gliserol dipengaruhi juga oleh enzim lipase.
- f. Kerja enzim sangat dipengaruhi oleh faktor-faktor fisik, kimia lingkungan seperti: suhu dan pH, adanya inhibitor enzim, substrat dan sebagainya.

Fungsi enzim di dalam proses metabolisme sel makhluk hidup sebagai berikut:

- a. Reduksi yaitu reaksi penambahan molekul hidrogen, elektron atau pelepasan oksigen.
- b. Dehidrasi yaitu pelepasan molekul uap air (H_2O).
- c. Oksidasi yaitu reaksi pelepasan molekul hidrogen, elektron atau penambahan oksigen.
- d. Hidrolisis yaitu reaksi penambahan H_2O pada suatu molekul dan diikuti pemecahan molekul pada ikatan yang ditambah H_2O .
- e. Deminase yaitu reaksi pelepasan gugus amin (NH_2)
- f. Dekarbolisasi yaitu reaksi pelepasan CO_2 dan gugusan karbositil.
- g. Fosforilasi yaitu reaksi pelepasan fosfat.

Adapun faktor-faktor yang mempengaruhi kerja dan aktivitas enzim pada metabolisme sel adalah:

- a. Suhu

Semua enzim membutuhkan suhu yang sesuai agar dapat bekerja secara optimal. Peningkatan suhu mengakibatkan kecepatan reaksi biokimia menjadi meningkat. Hal ini disebabkan keniakan suhu meningkatkan energi kinetik dari molekul, yang menyebabkan jumlah tabrakan di antara molekul-molekul. Dalam kondisi suhu rendah, laju reaksi melemah karena sedikit kontak antara substrat dan enzim.

Suhu yang ekstrim juga tidak mendukung kerja aktivitas suatu enzim. Di bawah pengaruh suhu yang sangat tinggi, molekul enzim

mengalami distorsi, laju reaksi pun menjadi lambat, bahkan sebuah enzim gagal melaksanakan fungsinya.

Dalam tubuh manusia, kerja enzim terjadi suhu optimum. Kebanyakan enzim menjadi sangat aktif jika berada pada kisaran suhu 35-40 °C. Bahkan dilaporkan beberapa hasil penelitian terdapat beberapa enzim yang bekerja optimal pada suhu yang lebih rendah dari 35 °C.

Enzim menjadi rusak apabila berada pada suhu ekstrim, yakni suhu yang terlalu tinggi (terlalu panas) atau terlalu rendah (terlalu dingin). Sebagaimana enzim rusak pada suhu di atas 60 °C, sebab mengalami peristiwa koagulasi atau pengumpulan protein. Enzim yang telah rusak tidak dapat lagi berfungsi walaupun kembali berada pada suhu normal. Rusaknya enzim karena suhu terlalu tinggi disebut denaturasi.

b. Nilai pH

Efisiensi kerja enzim sangat dipengaruhi oleh nilai pH atau derajat keasaman sekitarnya. Muatan komponen asam amino enzim mengalami perubahan bersama dengan perubahan nilai pH. Secara umum, sebagian besar enzim tetap stabil dan bekerja optimal pada kisaran pH 6-8. Namun, beberapa enzim tertentu bekerja dengan optimum pada lingkungan asam atau basa saja.

Nilai pH yang menguntungkan enzim tertentu sebenarnya ditentukan oleh sistem biologis tempat enzim bekerja. Manakala nilai pH menjadi terlalu tinggi atau terlalu rendah, menyebabkan struktur dasar enzim mengalami perubahan. Bagian aktif enzim tidak mampu mengikat substrat secara benar, sehingga mempengaruhi aktivitas enzim sampai benar-benar enzim berhenti berfungsi.

c. Konsentrasi Substrat

Kerja dan aktivitas enzim juga dipengaruhi oleh tinggi rendahnya konsentrasi substrat. Ketika, jumlah konsentrasi substrat lebih tinggi, menyebabkan lebih banyak jumlah molekul substrat yang terlibat dengan aktivitas enzim, sehingga kerja enzim menjadi aktif. Keadaan sebaliknya terjadi, ketika jumlah konsentrasi substrat rendah menyebabkan lebih sedikit molekul substrat yang dapat melekat pada enzim, akibatnya aktivitas enzim melemah.

Penting dipahami bahwa laju enzimatik sudah mencapai maksimum dan enzim sudah dalam kondisi paling aktif, peningkatan

konsentrasi substrat tidak memberikan pengaruh apapun terhadap kerja enzim.

d. Konsentrasi Enzim

Semakin besar konsentrasi enzim maka laju reaksi akan semakin cepat. Dengan kata lain, konsentrasi enzim linier dengan kecepatan reaksi, selama masih terdapat substrat yang diubah menjadi produknya.

e. Aktivator dan Inhibitor

Aktivator merupakan zat atau substansi yang membantu kerja enzim agar mudah berikatan dengan substrat. Sehingga, aktivator merupakan zat yang dapat mempercepat proses reaksi. Misalnya: ion Mg^{2+} , Ca^{2+} , Koenzim A.

Inhibitor merupakan zat atau substansi yang memiliki potensi untuk menghambat aktivitas dan laju reaksi enzim. Zat atau substansi yang menghalangi kerja enzim disebut inhibitor. Contoh yang termasuk inhibitor adalah: CO, Arsen, Hg dan Sianida.

2. Penamaan Enzim

Penamaan enzim pada dasarnya disesuaikan dengan nama substrat yang dipecah atau dikatalisis oleh enzim dan umumnya diberi akhiran *-ase*. Beberapa jenis enzim dan peranannya dapat diamati pada tabel berikut ini:

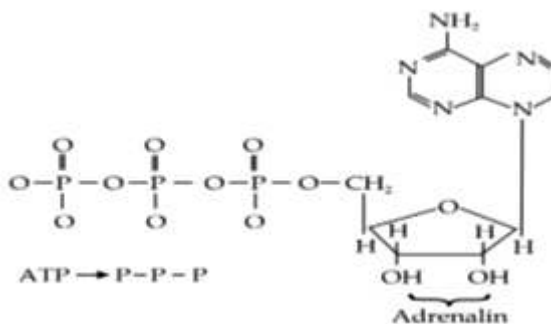
Tabel 6.1
Golongan, Jenis dan Peranan Enzim

Golongan Enzim	Jenis Enzim	Peranan Enzim
Karbohidrase	1. Selulose	Menguraikan selulosa (polisakarida) menjadi selabiosa (disakarida)
	2. Amilase	Menguraikan amilum (polisakarida) menjadi maltosa (disakarida)
	3. Pektinase	Menguraikan pektin menjadi asam pektin
	4. Maltose	Menguraikan maltosa menjadi glukosa
	5. Sukrose	Mengubah sukrosa menjadi glukosa dan fruktosa
	6. Laktose	Mengubah laktosa menjadi glukosa dan galaktosa
Protease	1. Pepsin	Memecah protein menjadi pepton
	2. Tripsin	Menguraikan pepton menjadi asam amino

Golongan Enzim	Jenis Enzim	Peranan Enzim
Esterase	3. Entrokinase	Menguraiikan pepton menjadi asam amino
	4. Peptidase	Menguraiikan peptida menjadi asam amino
	5. Renin	Menguraiikan kasein dan susu
	6. gelatinase	Menguraiikan gelatin
	1. Lipase	Menguraiikan lemak menjadi gliserol dan asam lemak
	2. Fostatase	Menguraiikan suatu ester hingga terlepas asam fosfornya

3. Adenosin Triposfat (ATP)

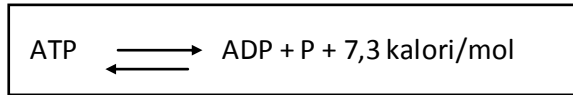
Adenosin Trifosfat (ATP) termasuk senyawa kimia yang mempunyai energi tinggi, tersusun dari ikatan adenin purin terikat pada gula yang mengandung 5 atom C, yakni ribose dan tiga gugus fosfat. Walaupun dikategorikan sebagai molekul berenergi tinggi, namun ikatan kimianya tidak stabil, sehingga mudah melepaskan gugus fosfatnya. Ketika sel memerlukan energi, maka ATP dapat segera dipecah melalui reaksi hidrolisis (reaksi dengan air) dan terbentuk energi yang sifatnya aktif dan mudah diangkut serta digunakan oleh seluruh bagian sel tersebut.



Gambar 6.4. Struktur molekul ATP

Ketika energi yang terkandung pada ATP akan digunakan, maka terlebih dahulu harus dipecah melalui reaksi hidrolisis dengan cara melepaskan 2 ikatan fosfat, yaitu antara ikatan fosfat kedua dan ketiga kemudian dihasilkan *Adenosin Difosfat* (ADP). Energi yang terbentuk dari hasil reaksi hidrolisis dapat digunakan oleh sel untuk berbagai proses. Perubahan ATP menjadi ADP diikuti dengan pelepasan energi sebanyak 7,3 kalori/ mol. Peristiwa

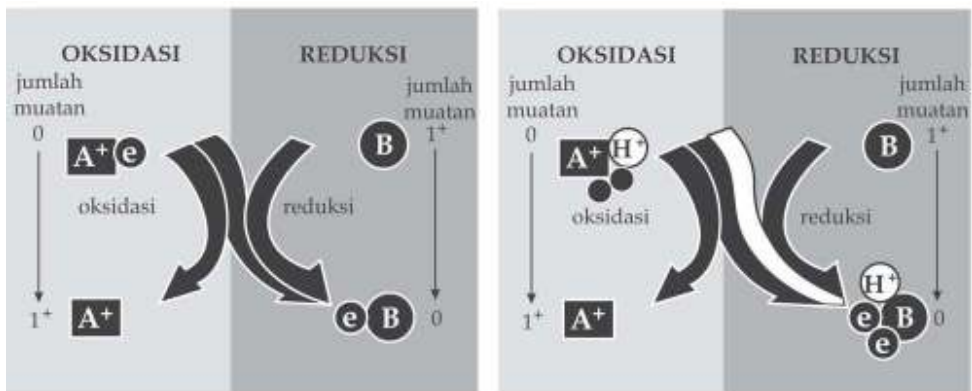
perubahan ATP menjadi ADP merupakan reaksi yang bolak balik, berikut adalah reaksinya:



Karena fungsi ATP sebagai penyimpan energi yang sewaktu-waktu dapat dimanfaatkan dan bersifat *reversible* (reaksi bolak balik), maka disebut sebagai *universal energy carrier*.

4. Reaksi Reduksi-Oksidasi (Redoks)

Reaksi metabolik yang berlangsung di dalam sel melibatkan reaksi oksidasi dan reduksi. Reaksi oksidasi adalah suatu reaksi yang melibatkan oksigen dengan pelepasan elektron dari satu atom atau senyawa, sebaliknya reaksi reduksi adalah suatu reaksi yang melibatkan oksigen dengan penambahan elektron dari satu atom atau senyawa. Di dalam sel, kedua reaksi tersebut berlangsung secara simultan, artinya apabila elektron dilepaskan dari molekul sebagai pemberi (donor) elektron maka ada molekul lain yang bertindak sebagai penerima (akseptor) elektron. Dengan demikian, donor elektron menjadi molekul yang teroksidasi sedangkan akseptor elektron menjadi molekul yang tereduksi. Reaksi simultan antara oksidasi dan reduksi disebut dengan reaksi redoks.



- a. Pemindahan suatu elektron
- b. Suatu atom H dapat dipindahkan bersama elektron

Gambar 6.5. Proses Reaksi Redoks yang Terjadi pada Sel

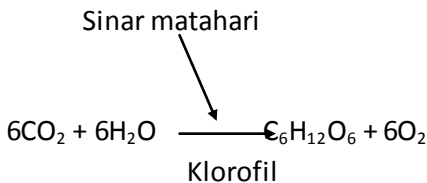
Pada umumnya, reaksi redoks yang terjadi di dalam sel merupakan reaksi dengan terjadinya pemindahan elektron dalam bentuk hidrogen (H^+) yang mengandung satu proton (e^-). Ada dua koenzim yang penting dalam reaksi redoks yang bertindak sebagai pembawa elektron (*electron carriers*), yakni koenzim *Nikotinamid Adenin Dinukleotida* (NAD) dan *Flavin Adenin Dinukleotida* (FAD). Kedua koenzim tersebut memiliki struktur yang hampir sama (identik). Apabila molekul NAD direduksi menjadi molekul $NADH_2$ maka dua elektron (H_2^+) dan satu proton (e^-) akan dipindahkan ke dalam molekul NAD menjadi $NADH_2$. Selama perpindahan elektron tersebut dalam suatu rangkaian reaksi berantai akan menghasilkan energi tinggi berupa ATP yang siap digunakan oleh sel.⁴⁷

D. Anabolisme

Anabolisme merupakan suatu reaksi penyusunan (sintesis) senyawa atau molekul-molekul yang kompleks dari molekul sederhana yang terjadi di dalam sel. Dalam proses sintesis dan penyusunan senyawa kimia tersebut diperlukan energi. Apabila energi berasal dari cahaya matahari, maka akan dipakai pada peristiwa fotosintesis, namun jika energi berasal dari energi kimia, maka akan digunakan untuk menyelesaikan proses kemosintesis.

1. Fotosintesis

Peristiwa fotosintesis hanya terjadi pada organisme yang mempunyai zat hijau daun atau klorofil. Pada proses fotosintesis membutuhkan karbondioksida dan air dengan bantuan sinar matahari akan terjadi asimilasi menghasilkan glukosa (karbohidrat) dan melepaskan oksigen. Berikut adalah persamaan reaksi fotosintesis:



Fotosintesis adalah proses penyusunan atau pembentukan dengan menggunakan energi cahaya atau foton. Sumber energi cahaya alami adalah

⁴⁷ John W. Kimball. *Biologi*. Jilid 1 (Jakarta: Penerbit Erlangga, 1989), 89

matahari yang memiliki spektrum cahaya infra merah (tidak kelihatan), merah, jingga, kuning, hijau, biru, nila, ungu dan ultra ungu (tidak kelihatan).

Cahaya yang digunakan dalam proses fotosintesis adalah spektrum cahaya tampak, dari ungu sampai merah, infra merah dan ultra ungu tidak digunakan dalam fotosintesis. Proses fotosintesis sangat kompleks karena melibatkan semua cabang ilmu pengetahuan alam utama, seperti fisika, kimia, maupun biologi sendiri. Pada tumbuhan, organ utama tempat berlangsungnya fotosintesis adalah daun. Namun secara umum, semua sel yang memiliki kloroplas berpotensi untuk melangsungkan reaksi ini. Di organel inilah tempat berlangsungnya fotosintesis, tepatnya pada bagian stroma. Hasil fotosintesis (disebut fotosintat) biasanya dikirim ke jaringan-jaringan terdekat terlebih dahulu. Rangkaian reaksi fotosintesis dapat dibagi menjadi dua bagian utama: reaksi terang (karena memerlukan cahaya) dan reaksi gelap (tidak memerlukan cahaya tetapi memerlukan karbon dioksida).

Reaksi fotosintesis yang terjadi di dalam daun dapat menghasilkan senyawa karbohidrat (*amilum*) dengan bantuan energi cahaya (*foton*). Sumber energi cahaya adalah matahari. Kloroplas terdapat di dalam daging daun (*mesofil*) dan juga ditemukan pada bagian-bagian lain tumbuhan seperti batang dan ranting yang mengandung zat hijau daun. Di dalam kloroplas terdapat pigmen berwarna hijau yang disebut *klorofil*. Pigmen inilah yang dapat menyerap energi spektrum cahaya matahari. Susunan kloroplas terdiri atas membran ganda yang menyelubungi ruangan berisi cairan (*stroma*). Membran tersebut membentuk suatu sistem disebut membran *tilakoid* dan bentuknya seperti suatu bangunan kantung disebut *kantung tilakoid*. Kantung-kantung tilakoid itu dapat berbentuk berlapis-lapis disebut *grana*. Karena letak klorofil berada pada membran tilakoid, maka proses perubahan energi cahaya (*foton*) menjadi energi kimia berlangsung dalam tilakoid. Proses fotosintesis dengan produk akhir glukosa dan senyawa lain berlangsung di dalam stroma. Tahapan dalam proses fotosintesis merupakan rangkaian dari suatu proses penangkapan energi cahaya (*fotosistem*), aliran elektron dan penggunaannya. Klorofil sebagian dari perangkat *fotosistem* untuk menangkap energi cahaya dalam proses fotosintesis.

Fotosistem merupakan suatu unit yang terdiri atas klorofil a, yang mampu menangkap energi cahaya (*foton*) matahari. Jika klorofil hanya menyerap cahaya merah, ungu, dan biru kemudian dipantulkan kembali maka terlihat warna hijau. Warna klorofil dapat berbeda-beda tergantung dari jenis klorofil dan cahaya yang terserap kemudian dipantulkan. Ada dua macam klorofil, yaitu:

- a. Klorofil a, yaitu klorofil yang memiliki pigmen warna hijau, pigmen merupakan senyawa kimia yang dapat menyerap cahaya tampak.
- b. Klorofil b, klorofil yang memiliki pigmen warna kuning sampai jingga disebut *karoten* memiliki struktur mirip dengan klorofil a.

Klorofil a dan pigmen-pigmen lain mengelompok di dalam tilakoid membentuk bangunan unit pigmen, klorofil a terletak di tengah bangunan yang disebut sebagai *pusat reaksi*. Klorofil a memperoleh energi cahaya dari akseptor elektron berasal dari sekelompok molekul pada perangkat pigmen yang dapat menangkap elektron cahaya berenergi tinggi disebut *antena*. Cahaya yang terserap klorofil a merupakan cahaya yang berenergi tinggi, sehingga dapat menyebabkan terlemparnya elektron yang ada pada pigmen. Elektron yang terlempar keluar orbit berada dalam keadaan tidak stabil yang menyimpan energi tinggi disebut *tereksitasi*. Dalam keadaan demikian, klorofil berusaha mensuplai elektron dari molekul lain dan dalam waktu bersamaan H_2O terpecah menjadi $2H^+$, OH^- dan elektron (fotolisis), elektron dari air ini diambil untuk menstabilkan keadaan klorofil kembali.

Klorofil a terdapat dua macam fotosistem, yaitu fotosistem I atau dikenal dengan P700 karena sensitif terhadap energi cahaya dengan panjang gelombang 700 nm dan fotosistem II atau disebut P680 yang sensitif terhadap energi cahaya dengan panjang gelombang 680 nm. Proses penyerapan energi cahaya dapat mengakibatkan terlepasnya elektron berenergi tinggi dari klorofil a, selanjutnya disalurkan dan ditangkap oleh akseptor elektron, maka proses tersebut merupakan awal dari proses terjadinya proses fotosintesis. Proses berikutnya elektron masuk dalam aliran elektron, jika elektronnya berasal dari fotosistem I bersifat nonsiklus dan apabila elektronnya berasal dari fotosistem II bersifat siklus.

2. Kemosintesis

Sebagaimana telah kita ketahui, bahwa sumber energi pada proses reaksi penyusunan (sintesis) molekul gula (karbohidrat) dari molekul CO_2 dan H_2O yang berlangsung di dalam sel makhluk hidup, adalah cahaya (foton) matahari, tetapi tidak semua makhluk hidup menggunakan cahaya sebagai sumber energinya.

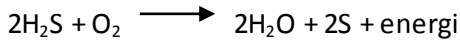
Pada beberapa mikroorganisme seperti bakteri belerang, bakteri nitrit, bakteri nitrat, dan bakteri besi memperoleh energi dengan cara mengoksidasi senyawa kimia. Peristiwa proses penyusunan bahan organik dengan

memanfaatkan atau menggunakan sumber energi dengan cara pengoksidasian atau pemecahan senyawa kimia disebut kemosintesis.

Menurut John W. Kimball peristiwa pengoksidasian beberapa mikroorganisme (bakteri) untuk memperoleh energi kimia, adalah.⁴⁸

- a. Bakteri belerang, misalnya bakteri sulfur tak berwarna (*Thiobacillus*), memperoleh energi dengan cara mengoksidasi H₂S, reaksinya:

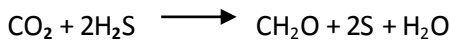
Cahaya



Klorofil

Selanjutnya energi tersebut digunakan untuk fiksasi CO₂ menjadi gula (karbohidrat), membentuk reaksi sebagai berikut:

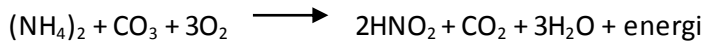
Cahaya matahari



Klorofil

- b. Bakteri nitrit, misalnya bakteri *Nitrosomonas* dan *Nitrococcus* memperoleh energi dengan cara mengoksidasi NH₃ dalam bentuk senyawa amonium karbonat menjadi asam nitrit, reaksinya:

Nitrosomonas



Nitrococcus (asam nitrit)

- c. Bakteri nitrat, misalnya bakteri *Nitrobacter* memperoleh energi dengan cara mengoksidasi nitrit menjadi nitrat, reaksinya:

Nitrobacter



- d. Bakteri besi, misalnya *lipotrik* memperoleh energi dengan cara mengoksidasi ferro menjadi ferri, reaksinya:

Oksigen



⁴⁸ *Ibid.* John W. Kimball. *Biologi*, 98

E. Katabolisme

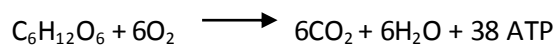
Bahwa proses metabolisme di dalam sel makhluk hidup terjadi reaksi yang sifatnya pemecahan atau pembongkaran senyawa ikatan kimia kompleks menjadi senyawa ikatan kimia sederhana, disebut peristiwa katabolisme.

Katabolisme merupakan reaksi pemecahan atau penguraian senyawa kompleks (organik) menjadi senyawa yang lebih sederhana (anorganik). Dalam peristiwa katabolisme menghasilkan energi yang berasal dari terlepasnya ikatan-ikatan senyawa kimia yang mengalami penguraian. Tetapi energi yang dihasilkan itu tidak dapat digunakan langsung oleh sel, melainkan harus diubah dalam bentuk senyawa *Adenosin Trifosfat* (ATP) yang mengandung energi tinggi. Tujuan utama reaksi katabolisme adalah untuk membebaskan energi yang terkandung di dalam senyawa sumber, yaitu *Adenosin Trifosfat* (ATP). Reaksi penguraian energi pada peristiwa katabolisme dikenal dengan proses respirasi.

1. Respirasi

Respirasi sel berlangsung di dalam mitokondria melalui proses glikolisis, dilanjutkan dengan proses dekarboksilasi oksidatif kemudian siklus Krebs, pada setiap tahapan atau tingkatan proses respirasi dihasilkan energi berupa ATP dan hidrogen. Hidrogen yang berenergi bergabung dengan akseptor hidrogen untuk dibawa ke transfer elektron, energinya dilepaskan dan hidrogen diterima oleh O_2 menjadi H_2O . Bahan bakar proses respirasi sel adalah gula heksosa dan proses pembakaran tersebut memerlukan oksigen bebas.

Respirasi merupakan proses pembebasan energi kimia dalam tubuh organisme melalui reaksi oksidasi (penambahan oksigen) pada molekul organik. Dari peristiwa tersebut akan dihasilkan energi dalam bentuk *Adenosin Trifosfat* (ATP) dan CO_2 serta H_2O (sebagai hasil sisa).



Pada peristiwa respirasi, gula heksosa mengalami pembongkaran melalui proses yang sangat panjang. Glukosa sebagai bahan bakar mengalami proses fosforilasi, yaitu proses penambahan fosfat kepada molekul-molekul glukosa hingga menjadi fruktosa -1,6 difosfat. Pada fosforilasi, ATP dan ADP memegang peranan penting sebagai pengisi fosfat.

Adapun perubahan fruktosa -1,6 difosfat hingga akhirnya menjadi CO₂ dan H₂O dapat dibagi menjadi 4 tahap, yaitu glikolisis, dekarboksilasi oksidatif, siklus krebs, dan transfer elektron.

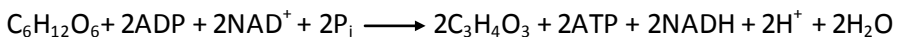
a. Glikolisis (Respirasi aerob)

Glikolisis merupakan proses serangkaian reaksi yang menguraikan terjadinya konversi satu molekul glukosa menjadi dua molekul asam piruvat serta NADH dan ATP. Rangkaian reaksi ini dikenal sebagai jalur *Embden-Mayerhoff-Parns* (EMP). Glikolisis berlangsung di sitosol, merupakan proses pemecahan molekul glukosa yang memiliki 6 atom C menjadi dua molekul asam piruvat yang memiliki 3 atom C.

Menurut Yohanis Ngili, glikolisis merupakan jalur metabolisme primitif karena bekerja pada sel yang paling sederhana dan tidak memerlukan oksigen. Jalur glikolisis memiliki lima fungsi utama dalam sel, yakni :

- 1) Glukosa diubah menjadi piruvat yang bisa dioksidasi dalam siklus asam sitrat.
- 2) Banyak senyawa selain glukosa yang dapat memasuki jalur pada tahap intermediet.
- 3) Dalam beberapa sel, jalur ini dimodifikasi untuk memungkinkan sintesis glukosa.
- 4) Jalur ini mengandung intermediet-intermediet yang terlibat dalam reaksi metabolisme alternatif.
- 5) Untuk setiap molekul glukosa yang dikonsumsi, dua molekul ADP difosforilasi oleh fosforilasi tingkat substrat untuk menghasilkan dua molekul ATP.⁴⁹

Persamaan reaksi kimia lengkap untuk glikolisis adalah:



Glikolisis merupakan reaksi tahap pertama secara aerob yang terjadi di dalam mitokondria. Glikolisis ini terjadi pada saat sel memecah molekul glukosa yang mengandung 6 atom C (6C) menjadi 2 molekul asam piruvat yang mengandung 3 atom C (3C) yang melalui dua rangkaian reaksi yaitu rangkaian I (pelepasan energi) dan rangkaian II (pengambilan oksigen) dengan uraian sebagai berikut:

⁴⁹ Yohanis Ngili. *Biokimia*. (Yogyakarta: Penerbit Graha Ilmu, 2009). 53

1) Rangkaian I

Rangkaian I (pelepasan energi) berlangsung di dalam sitoplasma pada kondisi anaerob yaitu diawali dari reaksi penguraian molekul glukosa menjadi glukosa 6-fosfat yang membutuhkan (-1) energi dari ATP dan melepas 1 P. Apabila glukosa-6-fosfat mendapat tambahan 1 P menjadi fruktosa 6-fosfat kemudian menjadi fruktosa 1,6 fosfat yang membutuhkan (-1) energi dari ATP yang melepas 1 P. Jadi untuk mengubah glukosa menjadi fruktosa 1,6 fosfat, energi yang dibutuhkan sebanyak (-2) ATP. Selanjutnya fruktosa 1,6 fosfat masuk ke dalam mitokondria dan mengalami lisis (pecah) menjadi dehidroksik aseton fosfat dan fosfogliseraldehid.

2) Rangkaian II

Rangkaian II (membutuhkan oksigen) berlangsung di dalam mitokondria, molekul fosfogliseraldehid yang mengalami reaksi fosforilasi (penambahan gugus fosfat) dan dalam waktu yang bersamaan, juga terjadi reaksi dehidrogenasi (pelepasan atom H) yang ditangkap oleh akseptor hidrogen, yaitu koenzim NAD. Dengan lepasnya 2 atom H, fosfogliseraldehid berubah menjadi 2 kali 1,3-asam difosfogliseral kemudian berubah menjadi 3-asam fosfogliseral yang menghasilkan (+2) energi ATP. Selanjutnya 3-asam fosfogliseral tersebut berubah menjadi 2 asam piruvat dengan menghasilkan (+2) energi ATP serta H₂O (sebagai hasil sisa). Jadi, energi hasil akhir bersih untuk mengubah glukosa menjadi 2 x asam piruvat, adalah:

- 1) Energi yang dibutuhkan Tahap I : (-2) ATP
- 2) Energi yang dihasilkan Tahap II : (+4) ATP
- 3) Energi hasil akhir bersih : 2 ATP

b. Dekarboksilasi Oksidatif

Pada perjalanan reaksi berikutnya, asam piruvat tergantung pada ketersediaan oksigen dalam sel. Jika oksigen cukup tersedia, asam piruvat dalam mitokondria akan mengalami *dekarboksilasi oksidatif* yaitu mengalami pelepasan CO₂ dan reaksi oksidasi dengan pelepasan 2 atom H (*reaksi dehidrogenasi*). Selama proses tersebut berlangsung, maka asam piruvat akan bergabung dengan koenzim A (*KoA-SH*) yang membentuk asetil koenzim A (*asetyl KoA*). Dalam suasana aerob yang berlangsung di membran krista mitokondria terbentuk juga hasil yang lain, yaitu NADH₂ dari NAD yang menangkap lepasnya 2 atom H yang berasal dari reaksi

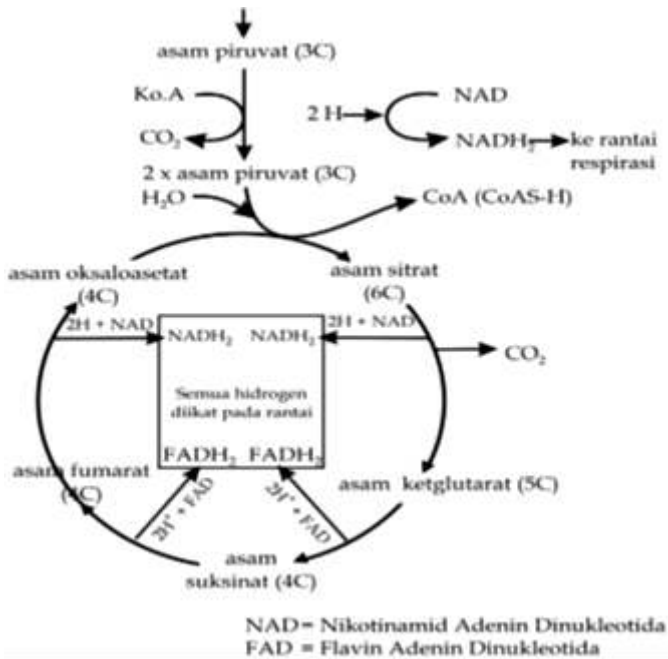
dehidrogenasi. Kumpulan NADH₂ diikat oleh rantai respirasi di dalam mitokondria. Setelah asam piruvat bergabung dengan koenzim dan membentuk asetil Co-A kemudian masuk dalam tahap siklus Krebs atau siklus asam sitrat.

c. Siklus Krebs

Penjabaran selanjutnya, asetil Ko-A yang masuk dalam tahap kedua yaitu siklus Krebs atau siklus asam sitrat. Mengapa pada tahapan kedua ini dinamakan siklus Krebs? Siklus Krebs berasal dari nama penemuannya yaitu Sir Hans Krebs (1980-1981), seorang ahli biokimia Jerman yang menyatakan bahwa glukosa secara perlahan dipecah di dalam mitokondria sel dengan suatu siklus dinamakan siklus Krebs. Asetil koenzim A masuk siklus Krebs melalui reaksi hidrolisis dengan melepaskan koenzim A dan gugus asetil (mengandung 2 atom C), kemudian bergabung dengan asam oksaloasetat (4 atom C) membentuk asam sitrat (6 atom C). Energi yang digunakan untuk pembentukan asam sitrat berasal dari ikatan asetil koenzim A. Selanjutnya, asam sitrat secara bertahap menjadi asam oksaloasetat (C₄) lagi yang kemudian akan bergabung dengan asetil Ko-A. Peristiwa pelepasan atom C diikuti dengan pelepasan energi tinggi berupa ATP yang dapat langsung digunakan oleh sel. Selama berlangsungnya reaksi oksigen yang diambil dari air untuk digunakan mengoksidasi dua atom C menjadi CO₂, proses tersebut disebut *Dekarboksilasi Oksidatif*. Dalam setiap oksidasi 1 molekul asetil koenzim A akan dibebaskan 1 molekul ATP, 8 atom H, dan 2 molekul CO₂. Atom H yang dilepaskan itu kemudian ditangkap oleh *Nikotinamid Adenin Dinukleotida* (NAD) dan *Flavin Adenin Dinukleotida* (FAD) untuk dibawa menuju sistem transpor yang direaksikan dengan oksigen menghasilkan air.

Tampak pada Gambar 6.5 bahwa asetil Ko-A melepas 2 atom C-nya yang ditangkap oleh oksaloasetat menjadi asam sitrat. Karena adanya penambahan dan pelepasan H₂O. Berikutnya asam sitrat diubah menjadi asam isositrat. Asam isositrat melepaskan gugus karboksil (CO₂) terbentuk asam α -Ketoglutamat yang disertai dengan pelepasan hidrogen dan elektron yang ditangkap NAD membentuk NADH. Selanjutnya Asam α -Ketoglutamat juga melepaskan gugus karboksit (CO₂) disertai dengan pelepasan hidrogen dan elektron yang ditangkap NAD membentuk NADH. Asam α -Ketoglutamat lalu berikatan dengan molekul Ko-A membentuk suksinat Ko-A. Ko-A kemudian dilepas dan digantikan oleh fosfat (P) berasal dari GTP, terikat pada ADP membentuk ATP, menyebabkan

suksinil Ko-A berubah menjadi asam suksinat. Asam suksinat melepaskan 2 hidrogen (2H) dan elektron yang ditangkap FAD membentuk FADH₂, asam suksinat berubah menjadi asam fumarat.



Gambar 6.6. Peristiwa Siklus Krebs

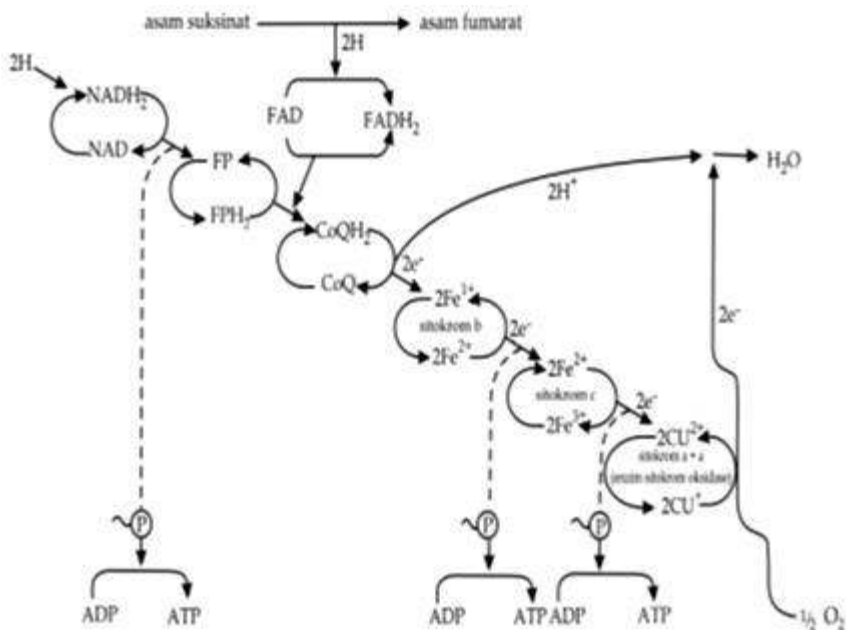
Kemudian asam fumarat melepaskan hidrogen dan elektron ditangkap oleh NAD⁺ membentuk NADH. Akhirnya asam malat berubah menjadi asam oksaloasetat. Asam oksaloasetat yang mendapat transfer 2 atom karbon (2C) dari asetil Ko-A akan menjadi siklus Krebs kembali. Pada akhir siklus Krebs ini akan terbentuk kembali asam oksaloasetat yang berikatan dengan molekul asetil koenzim A yang lain dan berlangsung kembali siklus Krebs, karena selama reaksi oksidasi pada molekul glukosa hanya dihasilkan 2 molekul asetil koenzim A, maka siklus Krebs harus berlangsung sebanyak dua kali. Jadi hasil bersih dari oksidasi 1 molekul glukosa akan dihasilkan 2 ATP dan 4 CO₂ serta 8 pasang atom H yang akan masuk ke rantai transpor elektron.

d. Rantai Transfer Elektron

Sebelum masuk rantai transpor elektron yang berada dalam mitokondria, 8 (delapan) pasang atom H yang dibebaskan selama berlangsungnya siklus Krebs akan ditangkap oleh NAD dan FAD menjadi

NADH dan FADH. Pada saat masuk ke rantai transpor elektron, molekul tersebut mengalami rangkaian reaksi oksidasi-reduksi (Redoks) yang terjadi secara berantai dengan melibatkan beberapa zat perantara untuk menghasilkan ATP dan H₂O. Beberapa zat perantara dalam reaksi redoks, antara lain flavoprotein, koenzim A dan Q serta sitokrom yaitu sitokrom a, a₃, b, c, dan c₁. Semua zat perantara berfungsi sebagai pembawa hidrogen/pembawa elektron (*electron carriers*).

Apakah yang dihasilkan dari reaksi rantai transpor elektron? Jika Anda perhatikan dengan seksama pada gambar reaksi rantai transpor elektron, bahwa untuk 1 molekul NADH₂ yang masuk ke rantai transpor elektron dapat dihasilkan 3 molekul ATP sedangkan dari 1 molekul FADH₂ dapat dihasilkan 2 molekul ATP.



Gambar 6.7. Peristiwa Siklus Krebs

Jadi, selama reaksi oksidasi dari 1 molekul glukosa dapat dihasilkan 38 ATP, terdiri atas 2 ATP dari glikolisis, 2 ATP dari dekarboksilasi oksidatif dan 6 ATP dari siklus Krebs (berasal dari 10 NADH₂) serta 4 ATP dari siklus Krebs (berasal dari FADH₂), jika dijumlahkan akan diperoleh hasil seperti berikut:

- 1) Energi ATP berasal dari 10 NADH₂ selama 3 kali = 3 x (2+2+6) = 34
- 2) Energi ATP berasal dari 2 NADH₂ selama 2 kali = 2 x 2 = 4

e. Respirasi Anaerob (Fermentasi)

Pada sebagian besar tumbuhan dan hewan, respirasi yang berlangsung adalah respirasi aerob, namun demikian dapat saja terjadi respirasi aerob terhambat karena sesuatu hal, maka hewan dan tumbuhan tersebut melakukan proses fermentasi yaitu proses pembebasan energi tanpa menggunakan oksigen, yang dikenal sebagai peristiwa respirasi anaerob. Respirasi anaerob merupakan reaksi pemecahan karbohidrat untuk mendapatkan energi tanpa menggunakan oksigen. Misalnya pada sel jamur dan bakteri dapat melangsungkan respirasi anorganik. Apabila seseorang melakukan kontraksi otot terlalu kuat misalnya berlari-lari, maka sel-sel jaringan otot kita juga melakukan respirasi anaerob. Pada keadaan oksigen yang tidak mencukupi untuk respirasi maka terjadi penimbunan asam laktat di dalam sel dan akan menimbulkan kelelahan. Proses penguraian pada respirasi anaerob disebut *fermentasi*.

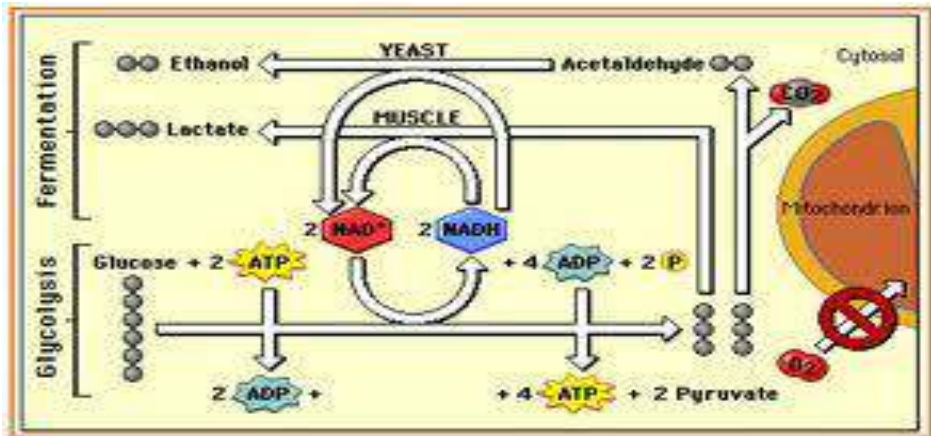
Secara prosedural, fermentasi merupakan suatu perluasan glikolisis yang dapat menghasilkan ATP hanya dengan fosforilasi tingkat substrat sepanjang terdapat pasokan NAD^+ yang cukup untuk menerima elektron selama langkah oksidasi dalam glikolisis. Mekanisme fermentasi tidak dapat mendaur ulang NAD^+ dari NADH karena tidak mempunyai agen pengoksidasi (kondisi anaerob). Sehingga yang terjadi adalah NADH melakukan transfer elektron ke piruvat atau turunan piruvat.

Berdasarkan hasil akhir fermentasi, jenis fermentasi dibedakan menjadi fermentasi asam laktat atau asam susu dan fermentasi alkohol.

1) Fermentasi Asam Laktat

Fermentasi asam laktat banyak dilakukan oleh fungi dan bakteri tertentu digunakan dalam industri susu untuk membuat keju dan yogurt. Aseton dan methanol merupakan beberapa produk samping fermentasi mikroba jenis lain yang penting secara komersil.

Fermentasi asam laktat yaitu fermentasi dengan hasil akhir berupa asam laktat. Peristiwa ini dapat terjadi pada sel-sel otot di bawah kondisi anaerob.

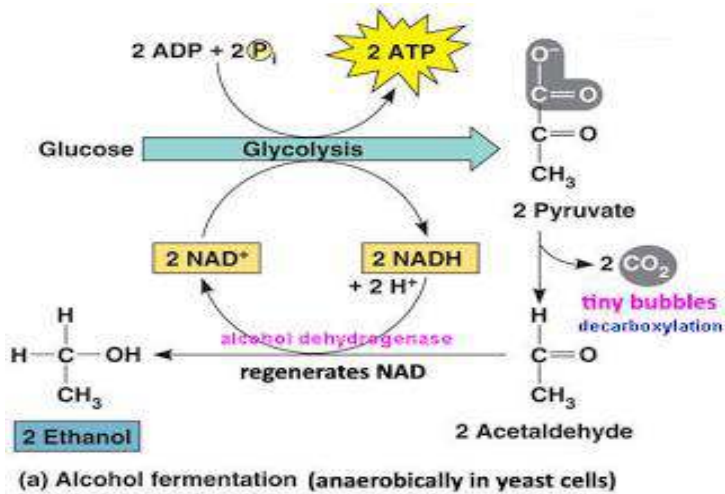


Gambar 6.8. Proses Fermentasi Asam Laktat

Dalam fermentasi asam laktat, piruvat direduksi langsung oleh NADH untuk membentuk laktat sebagai produk limbahnya, tanpa melepaskan CO_2 . Pada sel otot manusia, fermentasi asam laktat dilakukan apabila suplai oksigen tubuh kurang. Laktat yang terakumulasi sebagai produk limbah dapat menyebabkan otot letih dan nyeri, namun secara perlahan diangkut oleh darah ke hati untuk diubah kembali menjadi piruvat.

2) Fermentasi Alkohol

Fermentasi alkohol umumnya terjadi pada ragi dan bakteri yang banyak dimanfaatkan pada pembuatan bir dan anggur. Secara sederhana proses fermentasi alkohol dimulai dari piruvat diubah menjadi etanol melalui proses hidrolisis piruvat dengan molekul air yang melepaskan karbondioksida dan mengubahnya menjadi asetaldehida yang memiliki 2 karbon. Berikutnya asetaldehida mengalami reduksi menjadi etanol oleh NADH.



Gambar 6.9. Proses Fermentasi Alkohol

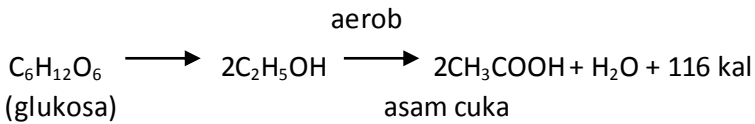
Proses fermentasi ini dimulai dengan glikolisis yang menghasilkan asam piruvat. Reaksi ini tanpa oksigen, sehingga asam piruvat diubah menjadi asam laktat, yang mengakibatkan elektron tidak meneruskan perjalanannya dan tidak lagi menerima elektron dari NADH dan FAD. Berarti NADH yang diperlukan dalam siklus Krebs juga tidak terbentuk, akibatnya siklus Krebs terhenti. Tetapi NADH di luar mitokondria dapat dibentuk dari NADH melalui proses pembentukan asam laktat dari asam piruvat.

Pada beberapa mikroba peristiwa pembebasan energi terlaksana karena asam piruvat diubah menjadi asam asetat + CO₂, selanjutnya asam asetat diubah menjadi alkohol. Pada fermentasi alkohol, 1 molekul glukosa hanya dapat menghasilkan 2 molekul ATP. Bandingkan dengan respirasi aerob, 1 molekul glukosa dapat menghasilkan 38 molekul ATP. Pada peristiwa ini terjadi perubahan NADH menjadi NAD⁺ sehingga proses glikolisis dapat berlangsung, akhirnya asam piruvat yang tersedia dapat diubah menjadi energi.

3) Fermentasi Asam Cuka

Fermentasi asam cuka merupakan fermentasi yang berlangsung dalam keadaan aerob. Fermentasi ini dilakukan oleh bakteri asam cuka (*Acetobacter aceti*) dengan substrat etanol. Energi yang dihasilkan 5 kali lebih besar dari energi yang dihasilkan oleh

fermentasi alkohol secara anaerob. Berikut ini adalah bentuk reaksi pada fermentasi asam cuka:



F. Hubungan antara Metabolisme Karbohidrat, Lemak dan Protein

Di dalam sel reaksi metabolisme tidak terpisah satu sama lain yaitu membentuk suatu jejaring yang saling berkaitan. Di dalam tubuh manusia terjadi metabolisme karbohidrat, protein, dan lemak. Bagaimana keterkaitan ketiganya? karbohidrat, protein, dan lemak bertemu pada jalur siklus Krebs dengan masukan asetil koenzim A. Asetil Ko-A merupakan bahan baku dalam siklus Krebs untuk menghasilkan energi yang berasal dari katabolisme karbohidrat, protein, maupun lemak.

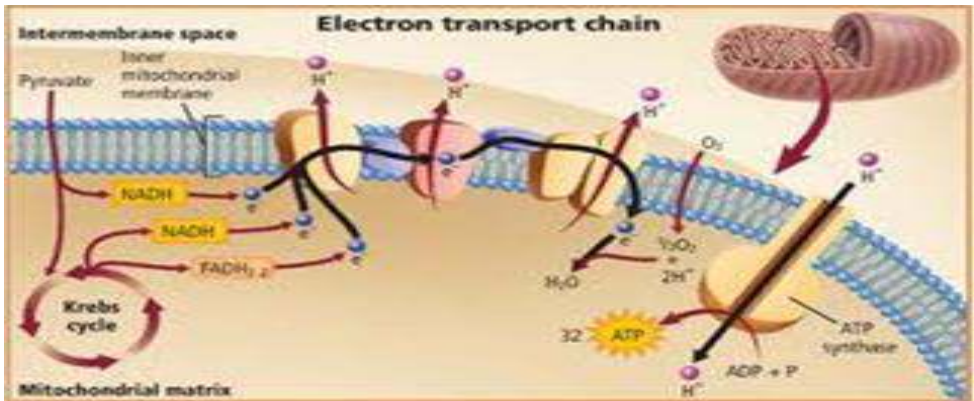
Kegunaan berbagai jalur metabolisme ini untuk saling menggantikan “bahan bakar” di dalam sel. Produk katabolisme karbohidrat, protein, dan lemak juga bermanfaat untuk menghasilkan senyawa-senyawa lain yaitu dapat membentuk ATP, hormon, komponen hemoglobin ataupun komponen sel lainnya. Lemak (asam heksanoat) lebih banyak mengandung hidrogen terikat dan merupakan senyawa karbon yang paling banyak tereduksi.

Karbohidrat (glukosa) dan protein (asam glutamat) banyak mengandung oksigen dan lebih sedikit hidrogen terikat adalah senyawa yang lebih teroksidasi. Senyawa karbon yang tereduksi lebih banyak menyimpan energi dan apabila ada pembakaran sempurna akan membebaskan energi lebih banyak karena adanya pembebasan elektron yang lebih banyak. Jumlah elektron yang dibebaskan menunjukkan jumlah energi yang dihasilkan. Perlu kita ketahui pada jalur katabolisme yang berbeda glukosa dan asam glutamat dapat menghasilkan jumlah ATP yang sama yaitu 36 ATP.

Katabolisme asam heksanoat dengan jumlah karbon yang sama dengan glukosa (6 karbon) menghasilkan 44 ATP, sehingga jumlah energi yang dihasilkan pada lemak lebih besar dibandingkan dengan yang dihasilkan pada karbohidrat dan protein. Jumlah energi yang dihasilkan protein setara dengan jumlah yang dihasilkan karbohidrat dalam berat yang sama.

Dari penjelasan itu dapat disimpulkan jika kita makan dengan mengkonsumsi makanan yang mengandung lemak akan lebih memberikan rasa kenyang jika dibandingkan dengan protein dan karbohidrat. Karena rasa

kenyang tersebut disebabkan oleh kemampuan metabolisme lemak untuk menghasilkan energi yang lebih besar. Diagram di bawah ini dapat menjelaskan hubungan antara metabolisme karbohidrat, protein dan lemak.



Gambar 6.10. Hubungan Metabolisme Karbohidrat, Lemak, Protein

Metabolisme juga berperan mengubah zat yang beracun menjadi senyawa yang tak beracun dan dapat dikeluarkan dari tubuh. Proses ini disebut detoksifikasi. Umumnya, hasil akhir anabolisme merupakan senyawa pemula untuk proses katabolisme. Hal itu disebabkan sebagian besar proses metabolisme terjadi di dalam sel. Mekanisme masuk dan keluarnya zat kimia melalui membran sel mempunyai arti penting dalam mempertahankan keseimbangan energi dan materi dalam tubuh. Proses sintesis dan penguraian berlangsung dalam berbagai jalur metabolisme. Adapun hasil reaksi tiap tahap metabolisme merupakan senyawa pemula dari tahap reaksi berikutnya.

Proses metabolisme yang terjadi di dalam sel makhluk hidup seperti pada tumbuhan dan manusia, melibatkan sebagian besar enzim (katalisator) baik berlangsung secara sintesis (anabolisme) dan respirasi (katabolisme). Apa peran enzim di dalam reaksi kimia yang terjadi di dalam sel? Pada saat berlangsungnya peristiwa reaksi biokimia di dalam sel, enzim bekerja secara spesifik. Enzim mempercepat reaksi kimia yang menghasilkan senyawa ATP dan senyawa-senyawa lain yang berenergi tinggi seperti pada proses respirasi, fotosintesis, kemosintesis, sintesis protein, dan lemak.

Berikut ini diuraikan berbagai kegiatan atau kebiasaan yang dapat mengakibatkan terjadinya kelainan atau penyimpangan metabolisme karbohidrat, seperti:

1. Mengonsumsi Kafein

Kafein adalah salah satu bentuk rangsangan atau stimulan yang dapat meningkatkan metabolisme di dalam tubuh. Menurut sebuah riset yang dipublikasikan dalam *International Journal of Obesity*, konsumsi kafein dapat menaikkan tingkat metabolisme tubuh hingga 4-5%, dengan ketentuan dikonsumsi dengan jumlah yang benar. Namun, disarankan agar tidak mengkonsumsinya secara berlebihan, sebab dapat berdampak negatif terhadap tubuh kita.

2. Tidak Minum Susu

Sebuah riset menunjukkan bahwa kekurangan kalsium telah dikaitkan dengan melambatnya proses metabolisme di dalam tubuh. Penelitian juga menunjukkan bahwa konsumsi produk susu rendah lemak atau bebas lemak akan mengurangi jumlah penyerapan lemak yang berasal dari makanan lain. Jika memungkinkan, kita dapat mengonsumsi yogurt saat sarapan atau jam makan siang untuk memenuhi kebutuhan kalsium.

3. Diet (Melewatkan Waktu Makan)

Melewatkan waktu makan dengan alasan ingin memiliki tubuh langsing, sesungguhnya dapat menyebabkan proses metabolisme di dalam tubuh menjadi lebih lambat. Mengapa? karena, tubuh membutuhkan sejumlah kalori setiap harinya untuk mendukung fungsi dari kerja tubuh. Jadi, jika asupan kalori terlalu rendah, maka tubuh akan mencari sumber bahan makanan lain dan biasanya mereka mengambilnya dari jaringan otot.

4. Konsumsi Alkohol

Menurut sebuah artikel yang ditulis oleh Dr. Mauro Di Pasquale pada *Body Building.com*, disebutkan bahwa alkohol dapat memperlambat metabolisme hingga 73%, bahkan beberapa jam setelah kita selesai mengonsumsi alkohol. Beberapa riset memang menunjukkan bahwa minum satu gelas alkohol memiliki beberapa manfaat kesehatan, tetapi terlalu berlebihan mengonsumsi alkohol harus dihindari, karena berdampak pada kesehatan tubuh secara keseluruhan.

5. Rendah Asupan Vitamin D

Vitamin D sangat penting dalam membantu proses penyerapan kalsium dan sumber vitamin D yang telah lama dikenal adalah "sinar matahari". Menghabiskan waktu beberapa menit di bawah sinar matahari

terutama saat pagi hari dapat memberikan dosis yang cukup dari vitamin D, seperti mendapat satu porsi ikan tuna, segelas susu atau sereal. Tetapi harus ingat, menghabiskan waktu terlalu lama berjemur di bawah sinar matahari tanpa perlindungan untuk menghindari sengatan matahari dapat menyebabkan kanker kulit.

6. Masa Otot Rendah

Fakta ilmiah membuktikan bahwa sel otot menggunakan lebih banyak energi daripada lemak. Oleh karena itu, seseorang yang memiliki massa otot lebih besar, cenderung mempunyai tingkat metabolisme yang lebih cepat. Jadi, melakukan latihan dengan beban berat, mengakibatkan tingkat metabolisme juga akan semakin meningkat. Latihan beban juga dipandang dapat membantu meningkatkan kepadatan tulang.

7. Kekurangan Zat Besi

Besi atau Fe adalah salah satu nutrisi penting yang dibutuhkan oleh tubuh untuk mengangkut oksigen menuju otot sekaligus membantu membakar lemak. Namun banyak orang kekurangan zat besi, terutama pada kaum perempuan yang secara rutin mengalami periode menstruasi. Kondisi ini dapat menyebabkan seseorang menjadi cepat merasa lelah, lemas di samping juga akan memperlambat tingkat metabolisme. Namun, zat besi ini dapat dengan mudah kita temukan dalam makanan seperti daging dan sayuran.

BAB VII

KEANEKARAGAMAN HAYATI

A. Uraian

Negara Indonesia yang terdiri atas beribu-ribu pulau ternyata dikenal juga sebagai salah satu negara yang mempunyai keanekaragaman hayati yang tertinggi di dunia. Harus disadari bahwa tidak ada dua individu di dunia ini yang benar-benar sama. Sebab pada setiap individu memiliki karakteristik atau ciri-ciri tertentu yang membedakannya dengan individu yang lain hal inilah yang menimbulkan adanya keanekaragaman pada makhluk hidup di bumi.

Keanekaragaman hayati atau biodiversitas menunjukkan adanya keanekaragaman organisme secara keseluruhan baik menyangkut variasi gen, jenis, dan ekosistem pada waktu dan tempat tertentu. Keanekaragaman hayati menyangkut adanya perbedaan-perbedaan antar makhluk hidup terjadi dari variasi mengenai bentuk, penampilan, jumlah, dan sifat-sifat yang dapat terlihat pada berbagai tingkatan. Keanekaragaman hayati mencakup berbagai jenis tumbuhan, hewan, dan jenis-jenis mikroba yang lain, dan seluruh tingkat organisasi tersebut dapat menunjukkan bahwa adanya keanekaragaman menyangkut diversitas gen, spesies dan ekosistem.

Terdapat dua faktor penyebab terjadinya keanekaragaman, yakni faktor genetik dan non genetik. Faktor genetik memiliki pengaruh dan sifat yang relatif konstan terhadap morfologi organisme. Faktor non genetik mempunyai pengaruh dan sifat yang relatif tidak konstan terhadap pembentukan morfologi organisme. Keanekaragaman hayati juga dapat terbentuk karena adanya keseragaman dan keanekaragaman untuk sifat atau ciri pada makhluk hidup tersebut. Keanekaragaman hayati dapat terjadi pada berbagai tingkat kehidupan.

Kegiatan manusia dapat menurunkan keanekaragaman hayati, baik keanekaragaman gen, jenis maupun keanekaragaman ekosistem. Beberapa jenis kegiatan manusia yang meningkatkan keanekaragaman hayati misalnya melalui reboisasi, konservasi lahan, pembuatan taman, dan pemuliaan.

B. Konsep Keanekaragaman Hayati

Berikut perkembangan dari konsep keanekaragaman hayati berdasarkan berbagai pendapat dari ilmuan biologi, adalah:

1. Aristoteles

Pada tahun 384 SM Aristoteles seorang ahli filsafat berkebangsaan Yunani menggolongkan organisme menjadi dua, yakni tumbuhan dan hewan. Selanjutnya tumbuhan yang dikelompokkan lagi ke dalam herba, semak, dan pohon. Hewan digolongkan menjadi dua yaitu hewan berdarah dingin dan hewan tidak berdarah dingin.

2. John Ray

Pada tahun 1627 M John Ray mengolongkan makhluk hidup menjadi bagian-bagian yang lebih kecil dan memperkenalkannya pada konsep mengenai spesies dan jenis.

3. Carolus Linnaeus (sistem klasifikasi dua kingdom)

Pada tahun 1735 M seorang ahli biologi bernama Carolus Linnaeus mengelompokan makhluk hidup atas dasar adanya kesamaan struktur ke dalam takson-takson dan memperkenalkan sistem tata nama makhluk hidup. Menurut sistem ini klasifikasi dimulai dengan dua kingdom yakni animalia dan plantae. Kerajaan dibagi ke dalam kelas dan masing-masing kelas terbagi ke dalam ordo, ordo dibagi ke dalam genus (bentuk jamaknya genera) selanjutnya dibagi dalam spesies.

4. Ernest Haeckel dan Hoog (sistem klasifikasi tiga kingdom)

Ketika makhluk hidup bersel satu ditemukan, kingdom dikelompokan menjadi dua kerajaan yakni filum Protozoa dan divisi Thallophyta atau Protophyta, seperti alga dan bakteri. Namun ada beberapa makhluk hidup yang dikelompokan ke dalam filum dan divisi, seperti alga yang dapat bergerak (euglena, dan jamur lendir yang mirip amuba). Berdasarkan hal tersebut, pada tahun 1866 seorang ahli ekologi Ernest Haeckel mengusulkan adanya kerajaan ketiga, yaitu Protista untuk menggolongkan makhluk hidup yang tidak memiliki ciri klasifikasi yang jelas. Protista merupakan organisme eukariotik yang memiliki sifat-sifat tumbuhan dan hewan sekaligus.

5. Herbet Copeland (sistem klasifikasi empat kingdom)

Pada tahun 1938, H. Copeland menggolongkan organisme menjadi empat kingdom, yakni monera, protista, plantae dan animalia. Kingdom monera tergolong organisme yang tidak mempunyai membran inti dan bersifat prokariotik. Kingdom protista kelompok organisme yang bersifat eukariotik. Kingdom plantae tergolong ke dalam tumbuh-tumbuhan yang mengalami periode perkembangan embrio. Demikian pula kingdom animalia termasuk kelompok hewan yang mengalami periodisasi perkembangan embrio dalam siklus hidupnya.

6. R.H. Whittaker (sistem klasifikasi lima kingdom)

Pada tahun 1969 Whittaker menggolongkan organisme ke dalam 5 kingdom, yakni animalia, plantae, fungi, protista dan monera. Ke lima kingdom tersebut mempunyai ciri-ciri sebagai berikut:

- a. Kingdom monera yang memiliki sifat-sifat prokariot, autotrof dan heterotrof, uniseluler maupun multiseluler.
- b. Kingdom protista yang memiliki sifat-sifat eukariot, autotrof dan heterotrof, baik yang uniseluler dan multiseluler.
- c. Kingdom fungi yang memiliki sifat-sifat eukariot, heterotrof, uniseluler dan multiseluler.
- d. Kingdom plantae yang memiliki sifat-sifat eukariot, autotrof, demikian pula yang multiseluler.
- e. Kingdom animalia yang memiliki sifat-sifat eukariot, heterotrof, dan multiseluler.

7. Carl Woese (sistem klasifikasi enam kingdom)

Selanjutnya pada tahun 1977, Carl Woese membagi organisme menjadi enam kingdom. Enam kingdom itu adalah protista, fungi, plantae, dan animalia, maka Carl Woese membagi lagi kingdom monera menjadi dua yaitu archabacteria dan eubacteria. Pada tahun 1990, Carl Woese dan kawan-kawannya kembali menyarankan sistem penggolongan makhluk hidup menjadi tiga domain yaitu bacteria (dari eubacteria), archaea (dari archabacteria), dan eukarya yang terdiri dari protista, fungi, plantae, dan animalia.

C. Definisi Keanekaragaman Hayati

Keanekaragaman adalah suatu kumpulan benda atau objek yang mempunyai bermacam-macam deferensiasi berdasarkan ukuran, warna, bentuk, jumlah, kenampakan, penampilan maupun tekstur serta sifat-sifat lainnya yang menghuni biosfer. Hayati maknanya menunjukkan sesuatu yang hidup. Oleh sebab itu keanekaragaman hayati tersebut yaitu menggambarkan tentang adanya perbedaan makhluk hidup atau organisme dikarenakan akibat adanya perbedaan suatu warna, ukuran, bentuk, jumlah, maupun tekstur, penampilan dan sifat-sifat lainnya yang menghuni biosfer.

Keanekaragaman merupakan suatu gejala biologi yang dihasilkan dari interaksi faktor genetik dan faktor lingkungan. Keanekaragaman dapat dilihat baik dari aspek struktural, (morfologis-anatomi), fisiologis maupun perilakunya. Keanekaragaman hayati tumbuh dan berkembang dari keanekaragaman jenis, keanekaragaman genetik, dan keanekaragaman ekosistem. Karena ketiga keanekaragaman ini saling berkaitan yang tidak terpisahkan, maka dipandang sebagai satu keseluruhan (totalitas) yaitu keanekaragaman hayati.

Menurut Wolf, keanekaragaman hayati menunjukkan adanya berbagai macam variasi bentuk, penampilan, jumlah dan sifat yang terlihat pada berbagai tingkat gen, tingkat jenis dan tingkat ekosistem.⁵⁰

Keanekaragaman makhluk hidup pada prinsipnya menunjukkan adanya variasi gen, spesies dan ekosistem di suatu tempat dan daerah tertentu. Terdapat dua faktor penyebab munculnya keanekaragaman hayati, yaitu faktor genetik dan faktor non genetik. Faktor genetik memiliki pengaruh relatif konstan terhadap morfologi organisme. Demikian juga sebaliknya, faktor non genetik seperti makanan, temperatur, cahaya matahari, kelembaban, curah hujan, pH, pengaruhnya relatif tidak stabil terhadap morfologi organisme.

Terbentuknya sifat fenotip pada individu merupakan hasil interaksi antara faktor genotip dengan faktor lingkungannya. Keanekaragaman hayati dapat terjadi pada berbagai tingkat kehidupan, mulai dari organisme tingkat rendah hingga organisme tingkat tinggi. Misalnya dari organisme uniseluler hingga organisme multiseluler. Bahkan pada tingkat organisasi kehidupan tingkat individu sampai tingkat interaksi yang lebih kompleks, misalnya dari spesies sampai ekosistem.

Keanekaragaman hayati tersebut menurut UU No 50 tahun 1994 adalah keanekaragaman di antara makhluk hidup dari semua sumber yang termasuk

⁵⁰ L. Wolf. *Ekologi Umum*. (Yogyakarta: Gadjah Mada University Press: 1992), 10

juga diantaranya suatu dataran, ekosistem ekuatik lain, serta kompleks ekologi yang merupakan suatu bagian dari keanekaragaman hayati tersebut yang akan mencakup keanekaragaman dalam spesies, antara lain spesies dan ekosistem.

E. Tingkat Keanekaragaman Hayati

Keanekaragaman hayati yang ada di dunia secara garis besar dibagi menjadi 3 (tiga) tingkatan yakni tingkatan gen, jenis dan ekosistem. Tingkatan keanekaragaman ini dapat terjadi pada berbagai tingkat kehidupan, mulai dari organisme tingkat rendah sampai organisme tingkat tinggi. Ketiga tingkatan keanekaragaman hayati tersebut adalah sebagai berikut:

1. Keanekaragaman Hayati Tingkat Gen

Keanekaragaman hayati tingkat gen merupakan sifat yang terdapat dalam satu jenis. Dengan demikian tidak ada satu organisme yang memiliki sifat yang sama persisi ditinjau dari sifat fenotipnya. Melalui teknik budidaya yang semakin modern maka semakin banyak jenis dan varietas tumbuhan dan hewan yang muncul dari hasil rekayasa genetik. Jenis dan varietas tumbuhan-tumbuhan seperti kedelai, padi, jagung, jenis-jenis buah-buahan seperti: apel, jeruk, semangka, mangga, melon, semangka, pisang termasuk jenis sayur-sayuran. Sedangkan jenis hewan seperti sapi, kambing, ayam dan sebagainya.

Munculnya keanekaragaman hayati dari berbagai jenis tanaman maupun hewan disebabkan adanya faktor fenotip, genotip dan lingkungan. Dengan rumus $F = G + L$. (F = fenotip; G = genotip; dan L = lingkungan).

Apabila faktor G (genotip) mengalami perubahan karena mutasi atau yang disebabkan hal-hal lain atau jika L (lingkungan) mengalami perubahan maka akan terjadi perubahan di F (fenotop). Perubahan pada fenotip inilah yang memunculkan variasi antara individu.

Menurut Suharno dkk bahwa perangkat genetik pada organisme memiliki kemampuan berinteraksi dengan lingkungannya.⁵¹ Misalnya, terdapat dua individu yang memiliki perangkat gen yang sama persis, tetapi hidup pada kondisi lingkungan yang berbeda maka kedua individu tersebut menampilkan ciri dan sifat yang berbeda pula. Keadaan sebaliknya dapat juga terjadi dimana dua individu yang memiliki perangkat gen yang berbeda, namun hidup pada kondisi lingkungan yang juga sama dapat memunculkan ciri dan sifat yang sama.

⁵¹ Suharno, dkk. *Biologi*. Jilid 1 (Jakarta: Penerbit Erlangga, 2007). 114



Gambar 7.1. Keanekaragaman Hayati Tingkat Gen

Dengan demikian, terdapat banyak kemungkinan susunan gen pada setiap individu pada satu spesies yang mengakibatkan tidak ada individu yang benar-benar sama persis, meskipun pada peristiwa kelahiran individu kembar.

2. Keanekaragaman Hayati Tingkat Jenis (Spesies)

Perbedaan yang muncul dari berbagai organisme di suatu tempat dikenal sebagai keanekaragaman jenis atau disebut keanekaragaman spesies. Keanekaragaman jenis ini lebih mudah diamati daripada keanekaragaman gen sebab lebih mudah dijumpai pada suatu tempat yang dihuni oleh sekumpulan makhluk hidup dari berbagai spesies (komunitas). Keanekaragaman hayati jenis ini dapat ditunjukkan dengan adanya berbagai macam jenis makhluk hidup baik dari kelompok hewan, tumbuhan maupun mikroba. Misalnya: terjadinya variasi dalam satu famili antara kucing, macan, harimau, (famili/keluarga Felidae) walaupun terdapat perbedaan fisik, perilaku dan habitat.

Keanekaragaman jenis menunjukkan seluruh variasi yang terdapat pada makhluk hidup antar jenis (interspesies) dalam satu marga. Keanekaragaman jenis lebih mudah diamati daripada keanekaragaman gen. perbedaan antarspesies makhluk hidup dalam satu marga atau genus lebih mencolok sehingga lebih mudah diamati daripada perbedaan antarindividu dalam satu

spesies. Misalnya nangka, keluwih, dan sukun ketiganya termasuk dalam genus, yaitu *Arthocarpus*.⁵²



Gambar 7.2. Keanekaragaman Hayati Tingkat Spesies

Terdapat enam faktor yang menentukan perubahan keanekaragaman jenis organisme dalam satu ekosistem yaitu waktu, heterogenitas ruang, persaingan, pemangsaan, stabilitas lingkungan dan produktivitas. Selama kurun waktu geologis terjadi perubahan keadaan lingkungan yang mengakibatkan banyak individu yang tidak dapat mempertahankan kehidupannya, tetapi ada juga kelompok-kelompok individu yang mampu bertahan hidup terus dalam waktu relatif lama sebagai hasil proses evolusi. Evolusi dapat diartikan sebagai proses yang menyebabkan terjadinya perubahan sifat populasi spesies dari waktu ke waktu berikutnya.⁵³

3. Keanekaragaman Hayati Tingkat Ekosistem

Ekosistem merupakan perpaduan seluruh unit atau kesatuan sistem biologi yang melibatkan hubungan timbal balik antara organisme dan lingkungannya. Apabila interaksi dan interelasi dalam sebuah ekosistem berlangsung secara normal, sistem biologi atau biosistem di tempat tersebut akan berjalan secara optimal yang akan menghasilkan keadaan ekosistem yang alami.

⁵² Rosoedarmo Soedjiran, Kartawinata, Sugiarto dan Apriliani. *Pengantar Ekologi*. (Jakarta, PT. Remaja Rosdakarya: 2000), 54

⁵³ Heddy Suwarsono, *Pengantar Ekologi*. (Jakarta: Penerbit CV. Rajawali, 1990), 26

Organisme yang tergabung dalam komunitas yang hidup dan berkembang dengan lingkungan fisik sebagai suatu sistem dan mengalami interaksi dikenal sebagai ekosistem. Dalam ekologi organisme di kenal sebagai faktor biotik, sedangkan lingkungan fisik disebut faktor abiotik meliputi: temperatur/suhu, cuaca, iklim, cahaya, air, tanah, kelembapan, oksigen, karbondioksida nitrogen dan sebagainya. Dengan demikian, interaksi antar organisme didalam ekosistem ditentukan oleh komponen biotik dan abiotik yang menyusunnya.

Apabila terjadi perbedaan keanekaragaman komponen biotik dan abiotik ditinjau dari kuantitas dan kualitasnya, mengakibatkan terjadinya perubahan pola interaksi sehingga membentuk suatu ekosistem yang berbeda pula. Jadi, eksistensi keanekaragaman hayati pada tempat yang berlainan menyusun atau membentuk ekosistem yang berbeda.



Gambar 7.3. Keanekaragaman Hayati Tingkat Ekosistem

Di bumi terdapat bermacam-macam ekosistem, yaitu ekosistem alami dan buatan. Secara garis besar ekosistem alam dibedakan menjadi ekosistem darat dan ekosistem perairan. Ekosistem perairan dibedakan atas ekosistem air tawar dan ekosistem air laut.

a. Ekosistem Darat (*Terrestrial*)

Ekosistem darat ialah ekosistem yang secara fisik terdiri atas lingkungan berupa daratan. Berdasarkan letak geografisnya atau suatu garis lintangnya, ekosistem darat dibagi menjadi beberapa bagian yaitu sebagai berikut:

1) Bioma Gurun

Bioma gurun banyak ditemukan di Amerika Utara, Afrika Utara, Australia bahkan Asia Barat. Karakteristik dari bioma gurun adalah curah hujannya sangat rendah, + 25 cm/tahun. Perbedaan suhu antara siang hari dengan malam hari sangat ekstrim (siang hari dapat mencapai temperatur 45 °C, malam hari turun hingga mencapai 0 °C). Jenis vegetasi gurun didominasi oleh tanaman kaktus, sukulen, dan berbagai tanaman xerofit. Jenis hewan yang dominan adalah serangga, hewan pengerat, ular dan kadal. Contoh bioma gurun adalah Gurun Sahara di Afrika, Gurun Gobi di Asia, Gurun Anzo Borrega di Amerika.



Gambar 7.4. Bioma Gurun

2) Bioma Padang Rumput

Bioma padang rumput terbentang mulai dari daerah tropika sampai ke subtropika. Ciri-ciri bioma ini diantaranya curah hujan sekitar 25 hingga 50 cm/tahun dan hujan turun tidak teratur. Jenis vegetasi yang mendominasi berupa rerumputan. Jenis hewan yang hidup seperti: bison, kuda, kerbau, rusa, zebra, kanguru, singa, harimau, anjing liar dan sebagainya. Bioma padang rumput terdapat di beberapa negara seperti: Amerika Utara, Rusia, Afrika Selatan, Asia bahkan di Indonesia (NTB dan NTT).



Gambar 7.5. Bioma Padang Rumput

3) Bioma Hutan Hujan Tropis

Ciri-ciri bioma hutan hujan tropis di antaranya adalah memiliki curah hujan tinggi yaitu antara 200-255 cm/tahun, matahari bersinar sepanjang tahun. Jenis vegetasi sangat banyak dan komunitasnya sangat kompleks. Tumbuhan dapat tumbuh dengan subur, besar, tinggi, dengan daun yang lebat sehingga membentuk tudung atau kanopi. Tumbuhan yang mendominasi berupa rotan, dan tumbuhan epifit yaitu tumbuhan yang menempel pada tumbuhan lain, misalnya anggrek. Binatang yang menghuni hutan hujan tropik adalah berbagai macam burung, kera, babi hutan, tupai, macan, gajah, dan rusa dan hewan yang bersifat nokturnal.



Gambar 7.6. Bioma Hutan Hujan Tropis

Bioma hutan hujan tropis ini berada di daerah tropik, seperti Indonesia, India, Thailand, Cina, Vietnam, Filipina, Malaysia, Brazil, Peru, dan sebagainya.

4) Bioma Hutan Gugur

Bioma hutan gugur ini memiliki curah hujan antara 75-100 cm/tahun. Memiliki 4 musim, yakni: musim panas, musim dingin, musim gugur dan musim semi. Keanekaragaman jenis vegetasi lebih rendah daripada bioma hutan tropis. Tumbuhan yang ada terutama maple, oak, beech, yang selalu menggugurkan daunnya pada musim gugur. Hewan-hewan yang umum adalah rusa, beruang, dan rubah, racoon, burung pelatuk, dan serangga.



Gambar 7.7. Bioma Hutan Hujan Tropis

Bioma hutan gugur terdapat di daerah subtropik di Eropa Barat, Korea, Jepang dan Amerika Timur.

5) Bioma Taiga

Ciri khas bioma taiga adalah suhu di musim dingin sangat rendah. Bioma taiga umumnya berupa hutan homogen yang tersusun atas satu spesies seperti konifer (pohon spruce, alder, dan birch), pinus, dan sejenisnya. Semak dan tumbuhan basah relatif jumlahnya sedikit sekali. Jenis hewannya seperti: moose, beruang hitam, ajag, dan burung-burung yang bermigrasi ke selatan pada musim gugur.

Bioma taiga terdapat di belahan bumi sebelah dan utara terutama daerah pegunungan tropik, misalnya di Rusia dan Eropa Utara, Kanada, dan Alaska.

6) Bioma Tundra

Daerah ini beriklim kutub, sehingga selalu tertutup salju. Pertumbuhan tanaman di daerah ini hanya 60 hari. Tumbuhan yang ada terutama adalah lumut sphagnum dan lumut kerak. Tumbuhan tahunan hampir tidak ada. Hewan-hewan yang ada adalah beruang kutub, burung, nyamuk, lalat hitam, serigala kutub, reinder, dan caribou bull (sebangsa rusa). Bioma tundra terdapat di belahan bumi sebelah utara di dalam lingkaran kutub utara dan terdapat di puncak-puncak gunung tinggi.

7) Bioma Karst

Kawasan karst yang terkenal di kawasan Indonesia adalah di daerah Gunung Kidul Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta, dengan ciri-ciri antara lain: tanahnya kurang subur khususnya untuk kegiatan pertanian, pori-pori aerasi yang rendah, gaya permeabilitas yang lamban dan didominasi oleh pori-pori mikro serta sangat rentan terjadinya erosi dan longsor.

b. Ekosistem Perairan (Akuatik)

1) Ekosistem Air Tawar

Ekosistem air tawar mengandung salinitas yang rendah. Air tawar memiliki kemampuan menyerap dan menyimpan panas dari sinar matahari sehingga perubahan suhu tidak terlalu ekstrim. Berdasarkan ada tidaknya arus, ekosistem air tawar dibedakan menjadi ekosistem lentik (air tidak mengalir) misalnya danau, kolam, rawa, serta ekosistem lotik (air mengalir) misalnya sungai dan selokan.

Tumbuhan yang mampu hidup pada ekosistem perairan tawar mulai dari tumbuhan yang berukuran besar (makrohidrofita) sampai tumbuhan yang berukuran kecil, seperti ganggang. Tumbuhan biji di ekosistem air tawar misalnya teratai dan eceng gondok. Tumbuhan yang berukuran mikroskopik termasuk ganggang biru, ganggang hijau, dan diatomae. Hewan yang menghuni perairan tawar seperti udang-udangan, ikan, dan serangga.

2) Ekosistem Air Laut

Diperkirakan 2/3 dari permukaan bumi didominasi oleh bioma air laut. Bioma air laut kurang terpengaruh oleh perubahan iklim dan cuaca. Umumnya air laut mempunyai salinitas yang tinggi. Kadar garam rata-rata air laut sekitar 35 ppm (part per million). Namun di sekitar wilayah khatulistiwa justru kadar garamnya lebih tinggi daripada di daerah yang jauh dari wilayah khatulistiwa.

3) Ekosistem Estuari

Ekosistem estuari atau ekosistem air payau merupakan suatu wilayah atau teritori perairan yang terletak di muara yaitu tempat pertemuan antara sungai dan laut atau disebut muara sungai. Muara sungai dapat disebut juga dengan pantai yang berlumpur.

Estuari mempunyai ciri khas berair payau dengan tingkat salinitas sedang (percampuran air sungai dan air laut). Vegetasi didominasi oleh tumbuhan bakau dan rumput laut. Beberapa organisme laut melakukan perkembangbiakan di daerah ini seperti ikan, ganggang, dan fitoplankton, udang dan moluska. Estuari mengandung berbagai nutrisi yang bersumber dari aliran sungai dan air laut.

4) Ekosistem Pantai

Habitat pantai ditandai dengan kandungan salinitas (kadar garam) yang tinggi dengan ion Cl^- mencapai lebih dari 55% terutama di daerah tropik, hal ini disebabkan tingkat suhu tinggi dan penguapannya tinggi. Di daerah tropik, temperatur air laut bisa mencapai 25°C . Terjadi perbedaan suhu bagian atas dan bawah laut yang ekstrim, sehingga terdapat batas antara lapisan air yang panas di bagian atas dengan air yang dingin di bagian bawah yang dikenal sebagai daerah termoklin. Jenis vegetasi yang tumbuh di ekosistem pantai didominasi oleh rumput laut.

5) Ekosistem Sungai

Sungai adalah bentukan badan air yang mengalir dari hulu ke hilir mengikuti pengaruh gravitasi bumi (air sungai mengalir dari tempat yang lebih tinggi menuju ke tempat yang lebih rendah). Air sungai umumnya bertemperatur rendah namun sedikit bervariasi, airnya lebih jernih namun sedikit mengandung sedimen dan minim nutrisi. Terjadinya aliran air sepanjang badan sungai mensuplai kandungan

oksigen yang sangat tinggi pada air sungai. Jenis fauna yang hidup pada ekosistem sungai cukup variatif, seperti ikan mujaer, ikan lele, ikan gurami dan lain-lain.

6) Ekosistem Terumbu Karang

Pada ekosistem laut tropis, tepatnya di wilayah neritik, terdapat suatu daerah khusus yang terdiri dari karang batu dan menjadi habitat berbagai organisme laut. Wilayah tersebut dikenal dengan nama terumbu karang. Ciri lain dari teritorial ini adalah daerahnya masih dapat ditembus cahaya matahari sehingga proses fotosintesis dapat berlangsung.



Gambar 7.8. Bioma Terumbu Karang

Ekosistem terumbu karang didominasi oleh karang (koral) termasuk kelompok cnidaria yang mensekresikan kalsium karbonat. Rangka dari kalsium karbonat mempunyai bentuk yang beranekaragam dan membentuk substrat sebagai habitat karang lain maupun ganggang. Jenis fauna didominasi oleh hewan mikroorganisme, jenis invertebrata, termasuk berbagai jenis ikan serta bermacam-macam ganggang.

7) Ekosistem Laut Dalam

Ekosistem laut dalam termasuk zona pelagik laut. Ekosistem ini memiliki kedalaman hingga mencapai 70000 meter dari permukaan air laut, sehingga tidak mampu ditembus sinar matahari. Jenis produsen utama pada ekosistem laut dalam adalah organisme tipe

kemoautotrof, misalnya: ular laut, lele laut dan ikan laut yang memiliki kemampuan mengeluarkan cahaya (bioluminisensi).

8) Ekosistem Lamun

Lamun atau *seagrass* termasuk wilayah atau teritori hamparan tumbuh-tumbuhan berbunga yang tumbuh dan berkembang di wilayah laut. Ciri khas ekosistem lamun adalah perairannya cukup dangkal dengan kondisi air yang jernih, mengandung sedikit sedimen, sehingga memungkinkan proses fotosintesis berlangsung optimal. Namun kondisi fisik yang lain seperti suhu dan salinitas relatif sama dengan ekosistem pantai atau ekosistem laut pada umumnya.

9) Ekosistem Buatan (Artifisial)

Ekosistem buatan adalah bentuk ekosistem yang dibuat dan dibangun oleh kemampuan kreativitas umat manusia sebagai bukti perjalanan peradaban setiap generasi yang lahir pada setiap masa dan kurun waktu tertentu. Ekosistem buatan memperoleh sumber energi dari eksternal. Jenis flora didominasi oleh tanaman yang sengaja dipelihara oleh manusia, seperti anggrek, tanaman mawar.

Demikian pula jenis fauna didominasi juga oleh hewan-hewan peliharaan seperti: kuda, sapi, kerbau, kambing, ayam, itik, dan sebagainya. Karena itu jenis vegetasi dan fauna pada ekosistem buatan memiliki keanekaragaman yang rendah. Contoh ekosistem buatan adalah berupa bendungan, taman kota, hutan tanaman produksi, agroekosistem berupa sawah tadah hujan, sawah irigasi, ekosistem pemukiman seperti kota dan desa.

D. Keanekaragaman Hayati di Indonesia

Indonesia terletak di daerah beriklim tropis dan dilewati oleh garis khatulistiwa. Kondisi ini menyebabkan Indonesia mempunyai keanekaragaman hayati yang sangat tinggi (termasuk tertinggi di dunia), serta memiliki berbagai jenis ekosistem, seperti ekosistem perairan sungai, ekosistem air tawar, ekosistem lamun, ekosistem pantai, ekosistem laut, ekosistem terumbu karang, ekosistem rawa gambut, hutan mangrove dan ekosistem hutan.

Secara astronomis, Indonesia terletak di antara 6°LU-11°LS dan 95°BT-141°BT. Beriklim tropis. Dilihat secara geografis, Indonesia terletak pada

pertemuan dua rangkaian pegunungan muda yaitu Sirkum Pasifik dan Sirkum Mediterania. Sehingga tanahnya subur dengan berbagai spesies endemik.

1. Persebaran Tumbuhan (Flora) di Indonesia

Seorang ilmuwan bernama Alfred Russel Wallace mengemukakan konsep tentang garis Wallace, yaitu garis khayal yang membagi dua wilayah berdasarkan perbedaan kelompok flora dan fauna. Sementara itu, Weber seorang ahli zoologi berkebangsaan Jerman, mengamati bahwa hewan-hewan yang hidup di Sulawesi tidak sepenuhnya seperti hewan yang hidup di Australia. Weber menyimpulkan bahwa wilayah Sulawesi adalah wilayah peralihan antara Oriental dan Australia. Indonesia termasuk dalam Indo Malesiana yang terdiri atas Indonesia, Filipina, Semenanjung Malaya, dan Papua Nugini.



Gambar 7.9. Persebaran Tumbuhan (Flora) di Indonesia

Jenis flora yang hidup dan tumbuh di Indonesia diperkirakan jumlahnya mencapai sekitar 25.000 jenis yang berarti lebih dari 10% total flora yang ada di dunia terdapat di Indonesia. Golongan lumut dan ganggang diperkirakan berjumlah sekitar 35.000 jenis. Hampir 40% dari jenis-jenis lumut dan ganggang tersebut bersifat endemik, artinya jenis flora yang hanya tumbuh di wilayah Indonesia dan tidak terdapat di wilayah-wilayah lain di dunia. Beberapa contoh jenis flora khas yang tumbuh di Indonesia adalah:

- a. Durian (*Durio zibethinus*), yang memiliki beberapa varietas, seperti: durian Petruk (berasal dari Jepara), durian Simas (berasal dari Bogor), durian Sitokong (asal Ragunan-Jakarta).

- b. Salak (*Salacca edulis*), yang terdiri dari beberapa varietas, misalnya: salak pondoh (asal Sleman Yogyakarta), salak Bali (asal Pulau Dewata), salak Condet (Berasal dari DKI Jakarta).
- c. Bunga Bangkai (*Rafflesia arnoldi*), yang merupakan endemik dari Provinsi Bengkulu.
- d. Pohon Jati (*Tectona grandis*), Mahoni (*Switenia mahagoni*), Kenari (*Canarium caesius*) dominasi ditemukan di pulau Jawa, keruing (*Dipterocarpus sp*), Matoa (*Pometia pinnata*) banyak ditemukan di Papua.
- e. Meranti (*Shorea sp*), rotan (*Calamus caesius*), Dominasi daerah Kalimantan.
- f. Cendana (*Santalum album*), kayu putih (*Eucalyptus alba*), banyak ditemukan di Nusa Tenggara Timur, Ambon hingga Maluku.

2. Persebaran Hewan (Fauna) di Indonesia

Pada uraian berikut ini, distribusi geografis fauna yang terdapat di dunia akan dikelompokkan menjadi enam bagian ditinjau dari daerah persebaran, jenis fauna dan negara yang menjadi tempat atau habitat dari hewan-hewan tersebut. Berikut ini adalah persebaran fauna yang ada di dunia, yakni:

Tabel 7.1
Persebaran Fauna di Dunia

No.	Daerah persebaran	Jenis fauna	Negara
1.	Oriental	Siamang, kera harimau, gajah	Indonesia bagian barat, Filipina, Thailand, India
2.	Australian	Kanguru, koala, platypus	Ausntalia, Indonesia bagian timur
3.	Paleartik	Panda raksasa, unta, keledai persia	Himalaya, Eropa, Afrika, Gurun Sahara
4.	Neartik	Rodentia (hewan pengerat) dan hewan yang tanduk bercabang	Amerika utara dan sekitarnya
5.	Neotropik	Kukang pohon, Armadillo, Tapir	Amerika Selatan dan bagian tengah
6.	Ethiopia	Kera, Jerapah dan Zebra	Afrika

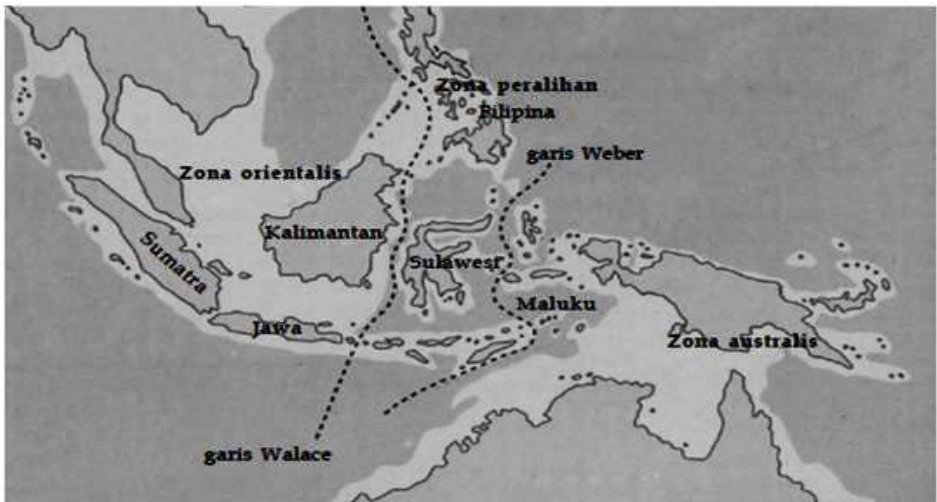
Jenis-jenis fauna yang hidup di Indonesia diperkirakan memiliki jumlah hingga mencapai 220.000 jenis yang meliputi sekitar \pm 200.000 serangga,

jumlah ikan hampir 4.000 jenis, jenis burung diperkirakan mencapai sekitar 2.000 jenis, serta 1.000 jenis reptilia dan amphibia.

Penyebaran keanekaragaman hayati di Indonesia, khususnya fauna sangat berhubungan dengan letak geografis Indonesia. Distribusi geografis fauna ini terbagi menjadi dua kawasan, yani kawasan timur (Benua Australia) dan kawasan barat (Benua Asia). Dalam perjalanan ekspedisinya ke wilayah Indonesia, Alfred R. Wallace (1856) menemukan adanya perbedaan fauna di beberapa wilayah di Nusantara.

Contohnya terdapat jenis burung yang hidup di Pulau Bali (burung Jalak Bali) ternyata tidak ditemukan di Pulau Lombok, dan sebaliknya burung yang dijumpai di Pulau Lombok tidak ditemukan di Pulau Bali. Namun fauna yang hidup di Sumatera, Jawa, Bali, dan Kalimantan ternyata terdapat kemiripan dengan jenis fauna di daerah geografis Oriental (Asia), sehingga Alfred R. Wallace menetapkan dan menentkan garis pembatas disebut garis Wallace yang memisahkan wilayah oriental dengan wilayah Australian (meliputi Papua, Maluku, Sulawesi, dan Nusa Tenggara).

Seorang ilmuwan bidang zoologi berkebangsaan Jerman, Max Weber menemukan jenis fauna di wilayah Sulawesi terdapat kesamaan dengan fauna yang hidup di daerah Oriental dan Australian (daerah peralihan), selanjutnya menetapkan garis pembatas yang dikenal sebagai garis Weber yang membentang dari kepulauan Sulawesi bagian selatan sampai kepulauan Aru. Jadi, fauna yang tinggal dan hidup di wilayah Nusantara mempunyai tipe daerah Oriental, Australian sekaligus Peralihan



Gambar 7.10 Penyebaran Fauna di Indonesia

Penyebaran keanekaragaman hayati di Indonesia, khususnya fauna terbagi menjadi dua kawasan, yaitu kawasan barat (Benua Asia) dan kawasan timur (Benua Australia). Berikut diuraikan jenis-jenis fauna yang hidup di wilayah Indonesia bagian barat (Oriental) dan kawasan Indonesia bagian timur (Australia).

- a) Wilayah Indonesia Barat (Oriental), fauna yang ditemukan dan hidup di wilayah persebaran oriental sebagai berikut:
 - 1) Mamalia berukuran besar, jenis fauna yang dijumpai, seperti: Gajah Sumatera (*Elephas maximus sumatrensis*), Banteng (*Bos sondaicus*), Harimau Jawa, Harimau Sumatera (*Panthera tigris sondaicus*), Tapir Sumatera, Badak Sumatera, Beruang Madu, Badak Bercula Satu.
 - 2) Fauna jenis primata, yang umum dijumpai seperti: Orang Utan Sumatra (*Pongo pygmaeus obelii*), Orang Utan Kalimantan (*Pongo pygmaeus pygmaeus*), Kera (*Macaca fascicularis*), Ungko, Monyet, Tarsius, Kukang, Bekantan.
 - 3) Jenis burung dengan warna bulu kurang menarik dan tidak beragam, namun kicauannya nyaring dan keras, seperti: burung Rangkong (*Rhinoplax vigil*), murai (*Myophonus sp.*)
- b) Wilayah Indonesia Timur (Australia), beberapa jenis fauna yang hidup di wilayah persebaran Australian sebagai berikut:
 - 1) Pada umumnya jenis mamalia yang mempunyai ukuran lebih kecil, contohnya kuskus, koala dan oposum.
 - 2) Mamalia yang berkantong, contohnya adalah: walabi kecil (*Dorcopsulus vanheurni*), walabi semak (*Thylogale bruijnii*), kanguru pohon (*Dendrolagus ursinus*)
 - 3) Jenis burung dengan warna bulu menarik dan lebih vjenisnya lebih beragam, seperti: burung Cendrawasih (*Paradisaea minor*), burung Kasuari (*Casuaris casuaris*), burung Nuri, burung Kakatua.
- c) Wilayah Indonesia Tengah (peralihan), beberapa jenis fauna yang hidup di wilayah persebaran peralihan sebagai berikut:
 - 1) Pada daerah transisi antara oriental dan Australian dijumpai jenis-jenis fauna dengan ciri khas masing-masing. Seperti: Komodo (*Varanus komodoensis*) di Pulau Komodo dan Pulau Rincha (Nusa Tenggara Timur). Jenis fauna seperti Babi Rusa (*Babyrousa babyrussa*), Jenis Anoa (*Bubalus depressicornis*), dan burung Maleo (*Macrocephalon maleo*) ditemukan di Sulawesi.

- 2) Jenis lain yang dijumpai pada persebaran fauna peralihan adalah: Kalong, Kuda Liar, Tapir, serta Tarsisius.

3. Fauna dan Flora Endemik

Di Indonesia terdapat jenis fauna dan flora yang bersifat endemik yang tidak terdapat di wilayah lainya. Beberapa contoh fauna endemik yang dimiliki Indonesia adalah hewan Komodo (kadal raksasa) yang dijumpai di Pulau Komodo dan Rincha. Termasuk Badak Bercula Satu yang hidup di wilayah Ujung Kulon Provinsi Banten. Sedangkan contoh floranya adalah bunga Rafflesia (bunga bangkai) yang tumbuh di wilayah hutan Provinsi Bengkulu Sumatera dan tumbuhan Matoa yang tumbuh di Irian Jaya (Papua).

Fauna langka yang sekarang dikategorikan hampir mengalami kepunahan antara lain: Badak Sumatra (*Dicerorhinus sumatrensis*), Harimau sumatra (*Panthera tigris sumatrae*), Tapir (*Tapirus indicus*), Komodo (*Varanus komodoensis*). Flora atau tumbuhan termasuk yang dilindungi keberadaannya di wilayah Indonesia antara lain: Tumbuhan Matoa (*Pometia pinnata*), Gandaria (*Bouea macrophylla*), Badali (*Raermachera gigantean*), Sawo kecil (*Manilkara kauki*), Bendo (*Artrocarpus elasticus*)

Selengkapnya beberapa contoh fauna dan flora endemik yang ditemukan di wilayah Indonesia antara lain:

- a. Fauna endemik, seperti: Harimau Jawa (*Panthera tigris sondaicus*), Harimau Bali (dilaporkan sudah mengalami kepunahan), Jalak Bali Putih (*Leucopsar rothschildi*), Badak Bercula Satu (*Rhinoceros sondaicus*), Binturong (*Artictis binturong*), Monyet (*Presbytis thomasi*), Tarsius (*Tarsius bancanus*), Kukang (*Nycticebus coucang*), burung Maleo (*Macrocephalon maleo*), binatang Komodo (*Varanus komodoensis*).
- b. Flora endemik, yang paling terkenal dari genus Rafflesia misalnya *Rafflesia arnoldii* (endemik di Sumatra Barat, Bengkulu, dan Aceh), *Rafflesia borneensis* (endemik di Kalimantan pada umumnya), *Rafflesia ciliata* (endemik terutama di Kalimantan Timur), *Rafflesia horsfieldii* (endemik di Jawa), *Rafflesia patma* (endemik di Nusa Kambangan dan hutan di wilayah Pangandaran Jawa Barat), *Rafflesia rochussenii* (endemik di Jawa Barat), dan *Rafflesia contleyi* (endemik di Sumatra bagian timur). Bedali (*Radermachera gigantean*), Kepuh (*Stereula foetida*), Bungur (*Lagerstroemia spesiosa*), Nangka celeng (*Arthocarpus heterophyllus*), Mundu (*Garcinia dulcis*), Sawo kecil

(*Manilkara kauki*), Winong (*Tetrameles nudiflora*), Kluwak (*Pingium edule*), Gandaria (*Bouea macrophylla*).

E. Manfaat dan Nilai Keanekaragaman Hayati

1. Sebagai Sumber Pangan, Papan dan Kesehatan

Kehidupan manusia sangat bergantung pada keanekaragaman hayati. Hewan dan tumbuhan yang kita manfaatkan sekarang ini (misalnya padi, jagung, kacang-kacangan, sayuran, buah-buahan, ayam, kambing, sapi dan sebagainya) pada awal mulanya merupakan hewan dan tumbuhan liar, yang kemudian dibudidayakan karena memiliki sifat-sifat unggul. Misalnya: sapi dibudidayakan karena menghasilkan daging, padi dibudidayakan karena menghasilkan beras sebagai bahan pokok makanan. Hal tersebut telah difirmankan dalam Al-Qur'an Surat Abasa ayat 24-34, bahwa Allah SWT telah berfirman yang artinya bahwa manusia dapat mengambil manfaat dari tumbuh-tumbuhan tersebut untuk memenuhi kebutuhan hidupnya.

2. Sebagai Sumber Plasma Nutfah

Masih banyak jenis hewan, tumbuhan bahkan mikroba yang hingga saat ini belum diketahui manfaat dan kegunaannya. Namun melalui riset yang dilakukan secara terus menerus seiring dengan tuntutan kebutuhan manusia yang dibarengi dengan kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi, boleh jadi semua di masa-masa yang akan datang tumbuhan, hewan dan mikroba yang tersembunyi di wilayah hutan sekarang ini lambat laun akan memiliki peranan yang sangat penting terutama untuk memenuhi kebutuhan umat manusia. Misalnya: buah mengkudu (pace) yang semula jarang dimanfaatkan, sekarang ini telah diketahui memiliki khasiat untuk meningkatkan kebugaran tubuh, mencegah dan mengobati berbagai jenis penyakit terutama tekanan darah tinggi.

3. Manfaat Ekologi

Di samping berfungsi untuk memenuhi dan menunjang kehidupan umat manusia, keanekaragaman hayati juga mempunyai peranan yang sangat penting dalam menjaga dan mempertahankan keberlanjutan ekosistem. Masing-masing jenis organisme yang memiliki peranan tertentu dalam ekosistem yang tidak mungkin digantikan oleh jenis organisme yang lain. Misalnya: keberadaan burung elang dan ular pada

ekosistem persawahan memiliki peranan untuk memangsa populasi tikus. Jika kedua predator ini diburu dan dibunuh oleh manusia, maka tidak ada yang mengendalikan populasi tikus. Akibatnya populasi tikus menjadi meningkat sangat cepat dan timbulah hama tikus yang menyerang tanaman para petani.

Tumbuhan merupakan penghasil zat organik dan oksigen, yang sangat dibutuhkan oleh makhluk hidup lain. Selain itu, tumbuh-tumbuhan dapat menghasilkan humus, mampu menyimpan air tanah, dan dapat mencegah terjadinya erosi. Keanekaragaman yang tinggi merupakan indikator kondisi ekosistem sedang stabil. Ekosistem dengan keanekaragaman yang rendah merupakan ekosistem yang rentan terjadi perubahan. Bagi manusia, keanekaragaman yang tinggi merupakan bank sifat-sifat unggul (plasma nutfah) untuk dimanfaatkan di masa mendatang.

4. Manfaat Keilmuan

Keanekaragaman hayati yang terdapat di bumi ini merupakan tantangan tersendiri bagi para ilmuwan untuk melakukan kegiatan riset secara terus menerus agar semakin banyak manfaat yang dapat diperoleh dari kekayaan hayati tersebut sekaligus melalui keanekaragaman hayati ini upaya para ilmuwan untuk melakukan kajian-kajian keilmuan dan pengembangan ilmu yang sangat berguna bagi kehidupan manusia.

5. Manfaat Keindahan

Kedaaan ekosistem akan stabil manakala di tempat tersebut atau habitat itu memiliki keanekaragaman yang tinggi. Keanekaragaman yang rendah justru menyebabkan hewan dan tumbuhan rentan terjadi kepunahan. Panorama alam dapat dinikmati secara sempurna manakala keanekaragaman tercipta di tempat tersebut. Berbagai jenis tumbuhan digunakan untuk tanaman hias. Beberapa jenis hewan juga dimanfaatkan manusia karena keindahan atau kemerduan suaranya, misalnya jenis-jenis burung.

6. Konservasi (Perlindungan) Keanekaragaman Hayati

Upaya konservasi keanekaragaman hayati atau biodiversitas sudah menjadi kesepakatan internasional. Keanekaragaman hayati yang dilindungi terutama jenis flora termasuk didalamnya lumut dan paku-pakuan dan jenis fauna serta mikroorganisme seperti bakteri dan jamur.

Beberapa tempat perlindungan keanekaragaman hayati di Indonesia telah ditentukan dan diresmikan oleh pemerintah. Lokasi perlindungan

tersebut misalnya berupa Taman Nasional, Cagar Alam, Hutan Wisata, Taman Hutan Raya, Taman Laut, Wana Wisata, Hutan Lindung, dan Kebun Raya. Ditetapkannya nama-nama tersebut bertujuan agar upaya perlindungan flora, fauna dan mikroorganisme dapat terjaga dan lestari, sehingga penting kewaspadaan dini untuk menghindari kepunahan yang sistemik.

BAB VIII

EKOLOGI DAN LINGKUNGAN HIDUP

A. Uraian

Pada awal abad 20 perkembangan ilmu Ekologi semakin penting dalam membantu memecahkan berbagai masalah pembangunan dan lingkungan hidup. Hal ini disadari karena ilmu ekologi menjadi pijakan yang sangat mendasar dalam menerapkan berbagai konsep pembangunan dan lingkungan hidup serta menempatkan peranan manusia dan makhluk hidup dalam hubungannya dengan lingkungan hidup.

Dengan demikian ekologi biasanya diartinya sebagai ilmu yang mengkaji tentang hubungan timbal balik antara makhluk hidup dengan lingkungannya. Permasalahan lingkungan hidup pada hakikatnya merupakan permasalahan ekologi. Hal ini karena ekologi merupakan ilmu yang mempelajari hubungan timbal balik antara makhluk hidup dengan lingkungan.

Permasalahan lingkungan hidup atau lingkungan dari tahun ke tahun semakin memprihatinkan, kondisi ini mendapat perhatian yang begitu besar dari hampir seluruh negara di dunia ini. Karena itu, pada tahun 1972, diselenggarakan konferensi PBB tingkat internasional tentang lingkungan hidup yang berlangsung di Stokholm Swedia. Hari pembukaan konferensi tanggal 5 Juni, dijadikan sebagai hari lingkungan hidup sedunia. Dalam konferensi Stokholm telah disepakati berbagai resolusi mengenai lingkungan hidup yang digunakan sebagai landasan tindak lanjut. Salah satu diantaranya ialah didirikannya badan khusus dalam PBB yang bertugas mengurus permasalahan lingkungan, yaitu *United Nations Environmental Programme*, disingkat UNEP. Badan ini bermarkas besar di Nairobi, Kenya.

Unsur penting yang harus diperhatikan dalam lingkungan adalah materi, energi, dan informasi. Ketiga unsur itu dapat ikut mempengaruhi keanekaragaman dalam komunitas dan dapat menjadi faktor pembatas dalam populasi. Apabila ketiga unsur itu terganggu (berubah) maka lingkungan juga berubah, berarti siklus biogeokimia pun berubah.

Dalam pengelolaan lingkungan bersifat antroposentris, tetapi dalam pengelolaan lingkungan tetap harus memperhatikan komponen-komponen

lingkungan hidup. Berbagai komponen itu dipelajari sebagai konsep-konsep dasar ekologi. Dengan Demikian ekologi merupakan salah satu komponen dalam sistem pengelolaan lingkungan hidup yang harus ditinjau bersama komponen lainnya.

B. Ekologi

1. Pengertian Ekologi

Pada abad ke XVI sampai XVII, beberapa ilmuan dan filsuf Yunani seperti Hipocartus dan Aristoteles memberikan catatan-catatan penting yang digunakan sebagai rujukan konsep awal ekologi atau masalah yang berkaitan dengan ekologi, pada mulanya dikenal sebagai *Natural History*, yang disusun secara sistematis, analitis dan obyektif. Namun, pada abad ke XIX sekitar tahun 1860, seorang ahli ilmu hayat dari Jerman Ernst Haeckel (1834-1919), memberikan rekomendasi agar *natural history* diganti namanya menjadi Ekologi. Jadi istilah ekologi pertama kali digunakan oleh Ernest Haeckel. Secara harfiah bahwa ekologi berasal dari bahasa Yunani, yang terdiri dari kata yaitu Oikos yang mengandung makna tempat hidup, tempat tinggal, rumah dan logos yang berarti kajian/ilmu/telaah.

Menurut Ernst Haeckel *ecology is the subdiscipline of biology that deals with interaction between organisms and their environment on the population, community and ecosystem levels of organization*. Jadi ekologi merupakan ilmu yang mempelajari mengenai interaksi atau hubungan timbal balik antara organisme dengan lingkungan hidupnya disebut ekologi. Karena itu ekologi berarti ilmu yang mempelajari tentang hubungan atau interaksi antara organisme dengan tempat tinggalnya atau dapat diartikan juga sebagai ilmu tentang rumah tangga makhluk hidup.⁵⁴

Ekologi adalah salah satu komponen dalam sistem pengelolaan lingkungan hidup yang harus ditinjau bersama dengan komponen lain untuk mendapatkan keputusan yang seimbang.⁵⁵ Jadi ekologi merupakan salah satu cabang dari biologi yang mempelajari pengaruh lingkungan terhadap jasad hidup (manusia, hewan dan tumbuhan) sebagai tempat hidupnya dan bagaimana menjalani fungsinya.

⁵⁴ Otto Soemarwoto. *Ekologi, Lingkungan Hidup dan Pembangunan*. (Jakarta: Penerbit PT. Djambatan, 1985). 22

⁵⁵ *Ibid.* Otto Soemarwoto. *Ekologi Lingkungan*, 23

Selain Ernst Haeckel yang mengusulkan definisi tentang ekologi, beberapa ilmuwan juga mencoba memberikan definisi seperti:

Burdon-Sanderson (1893), ekologi adalah ilmu yang mempelajari relasi atau hubungan eksternal antara tanaman dan hewan satu sama lain, serta keberadaannya pada masa lampau dan saat ini. Relasi eksternal tersebut untuk membedakan dengan fisiologi (*relasi internal*) dan morfologi (*struktur*).

Tansley (1904), dalam bukunya *pure science*, ekologi ialah hubungan tanaman dengan lingkungannya dan dengan tanaman lain dimana secara langsung dipengaruhi oleh perbedaan habitat diantara tanaman (struktur dan fungsi).

Elton (1927), dalam bukunya *applied science*, ekologi adalah ilmu yang mempelajari organisme (hewan) dengan kacamata sosiologi dan ekonomi, (bukan dilihat dari struktur dan adaptasi saja).

Andrewartha (1961), ekologi merupakan pengetahuan ilmiah yang berkaitan dengan distribusi dan kelimpahan suatu organisme.

Krebs (1972), memperjelas definisi ekologi, yakni pengetahuan ilmiah mengenai interaksi yang menentukan distribusi dan kelimpahan suatu organisme (ditinjau dari aspek dimana organisme ditemukan, berapa jumlahnya dan statusnya dan sebagainya). Ricklefs (1973), mendefinisikan ekologi sebagai ilmu lingkungan alam.

Berdasarkan arti secara harfiah istilah ekologi dan ekonomi adalah sama. Ekologi (oikos dan logos) sedang ekonomi (oikos dan nomos), sehingga kedua bidang ilmu itu memiliki banyak persamaannya. Namun dalam ilmu ekologi, pertukaran atau transaksi yang digunakan bukan mata uang (rupiah atau dolar), melainkan materi, energi, dan informasi. Arus materi, energi, dan informasi dalam suatu komunitas atau beberapa komunitas mendapat perhatian utama dalam ekologi.

Ekologi adalah kajian tentang bagaimana tanaman, binatang, dan organisme lain saling berhubungan satu dengan lainnya dalam lingkungan atau "rumah" mereka. Ekologi juga berarti kajian tentang kelimpahan dan distribusi organisme. Ahli ilmu lingkungan hidup mempelajari organisme hidup dengan pendekatan berbeda. Seorang ahli ekologi mungkin mempelajari satu populasi hewan yang bisa kawin (*interbreed*) satu dengan lainnya, suatu komunitas yang terdiri dari banyak spesies yang menghuni suatu area atau satu ekosistem, satu komunitas dari banyak organisme yang hidup bersama-sama dengan benda-benda tidak hidup di lingkungan mereka. Bagian-bagian

tidak hidup, oleh ahli ilmu lingkungan hidup dikenal sebagai komponen “abiotik” yaitu meliputi udara, air, tanah, dan cuaca.⁵⁶

Dalam mengelola lingkungan hidup harus mendasarkan kepada kepentingan manusia, yang dikenal dengan pendekatan antroposentris. Kelangsungan hidup suatu jenis tumbuhan atau hewan, dikaitkan dengan peranan tumbuhan atau hewan itu untuk memenuhi kebutuhan hidup manusia, baik material (bahan makanan) dan non-material (keindahan dan nilai ilmiah). Dengan demikian kelangsungan hidup manusia dalam lingkungan hidup sangat ditentukan oleh tumbuhan, hewan, dan unsur tak hidup.

Jadi, ekologi sebenarnya merupakan suatu kajian atau telaah yang mempertanyakan tentang berbagai aspek, diantaranya: bagaimana alam bekerja, bagaimana spesies beradaptasi dalam habitatnya, apa yang dibutuhkan dari habitatnya untuk melangsungkan kehidupannya, bagaimana memenuhi kebutuhan akan materi dan energi, bagaimana melakukan interaksi dengan spesies lain dan bagaimana individu dalam spesies itu diatur dan berfungsi sebagai populasi.

2. Konsep Dasar Ekologi

Menurut Odum (1979) dalam bukunya “*Fundamentals of Ecology*”, lingkungan hidup didasarkan beberapa konsep ekologi dasar, seperti konsep: biotik, abiotik, ekosistem, produktivitas, biomasa, hukum termodinamika I dan II, siklus biogeokimiawi dan konsep faktor pembatas. Dalam komunitas ada konsep biodiversitas, pada populasi ada konsep “*carrying capacity*”, pada spesies ada konsep distribusi dan interaksi serta konsep suksesi dan klimaks.⁵⁷

Berdasarkan segi kajiannya ekologi terdiri dari 2 (dua) komponen, yakni:

- a. Autekologi: kajian ekologi yang membahas tentang pengkajian individu organisme atau individu spesies yang penekannya pada sejarah-sejarah hidup dan kelakuan dalam menyesuaikan diri terhadap lingkungan.
- b. Sinekologi: kajian ekologi yang membahas pengkajian golongan atau kumpulan organisme-organisme yang berasosiasi bersama sebagai satuan.

⁵⁶ Sukarsono. *Pengantar Ekologi Hewan*. (Malang: Universitas Muhammadiyah Malang Press, 2009). 3

⁵⁷ Eugene P. Odum, *Fundamentals of Ecology*, Third Edition (Georgia: Saunders College Publishing, 1979). 46

Dalam suatu ekologi atau ekosistem terdapat 2 istilah yang sangat penting, yakni habitat dan relung. Habitat adalah tempat hidup suatu organisme. Habitat suatu organisme dikenal sebagai “alamat” suatu organisme. Sedangkan relung (niche atau nisia) adalah suatu profesi atau status suatu organisme dalam ekosistem tertentu, sebagai akibat adaptasi secara struktural, fisiologis serta perilaku spesifik dari organisme.

Makhluk hidup memiliki tingkat organisasi dari yang paling sederhana sampai yang paling kompleks. Tingkatan organisasi tersebut tercermin dalam rangkaian biologi yang dikenal sebagai spektrum biologi. Berturut-turut spektrum biologi sebagai berikut: protoplasma (substansi hidup di dalam sel) → sel (satuan dasar terkecil suatu organisme) → jaringan (kumpulan sel yang mempunyai bentuk dan fungsi sama) → organ (alat tubuh, bagian dari organisme) → sistem organ (interaksi antara struktur dan fungsional) → organisme (makhluk hidup, jasad hidup) → populasi (sekelompok organisme sejenis yang hidup dan berbiak pada suatu tempat tertentu) → komunitas (kumpulan populasi berbagai jenis yang menempati suatu tempat tertentu) → ekosistem (interaksi antara organisme dengan lingkungan) → biosfer (lapisan bumi tempat ekosistem beroperasi).

3. Tingkatan Organisasi Makhluk Hidup

Pembahasan tentang ekologi selalu berkaitan dengan ekosistem dengan berbagai komponen penyusunnya, yaitu faktor abiotik dan biotik. Faktora biotik antara lain temperatur, pH, salinitas, air, kelembapan, cahaya, dan topografi, sedangkan faktor biotik adalah organisme yang terdiri dari manusia, hewan, tumbuhan, serta mikroba.

Pembahasan ekologi juga berhubungan erat dengan tingkatan-tingkatan pada organisasi makhluk hidup, yaitu individu, populasi, komunitas, ekosistem dan biosfer yang saling mempengaruhi dan merupakan suatu sistem yang menunjukkan kesatuan. Faktor biotik melingkupi semua jenis makhluk hidup, yakni: tumbuhan dan hewan. Dalam ekosistem, tumbuhan berperan sebagai produsen, hewan sebagai konsumen, dan mikroba berfungsi sebagai dekomposer. Secara lebih terperinci, tingkatan organisasi pada makhluk hidup sebagai berikut:

a. Individu

Istilah individu berasal dari bahasa latin yakni individum (in = tidak; divides = dapat dibagi) yang mengandung makna tidak dapat dibagi. Artinya satuan secara struktur yang membentuk suatu kehidupan suatu

organisme. Di dalam ekologi, individu dapat diartikan sebagai organisme tunggal. Misalnya: seekor belalang, seekor ular, seekor harimau, sebatang pohon mangga, sebatang pohon pinang, dan seorang manusia. Sehingga setiap seekor hewan atau binatang maupun setiap pohon disebut individu.

Berikut adalah beberapa definisi atau pengertian dari individu, antara lain:

- 1) Individu selalu mencerminkan sifat tunggal.
- 2) Sifat tunggal pada individu mengalami proses hidup.
- 3) Proses hidup individu yang satu dengan yang lain berbeda.

Dalam mempertahankan kelangsungan hidupnya, setiap jenis mengalami hal-hal yang bersifat kritis. Misalnya, seekor ular harus memperoleh makanan, mempertahankan diri terhadap serangan pemangsa atau predator, serta mengalami proses reproduksi. Untuk mengatasi masalah tersebut, organisme harus mempunyai struktur khusus seperti: memproduksi dan mengeluarkan bisa, tumbuh duri pada seluruh tubuhnya, memiliki sayap, membentuk kantung, atau mengeluarkan tanduk dan lain-lain. Demikia pula, hewan memperlihatkan tingkah laku tertentu, seperti membuat sarang atau melakukan migrasi untuk mencari sumber makanan. Struktur dan tingkah laku tersebut dinamakan adaptasi. Terdapat bermacam-macam bentuk adaptasi makhluk hidup terhadap lingkungannya, seperti: adaptasi morfologi, adaptasi fisiologi, dan adaptasi tingkah laku.

- 1) Adaptasi morfologi, merupakan adaptasi atau penyesuaian struktur tubuh untuk mempertahankan kelangsungan hidupnya. Contoh adaptasi morfologi, sebagai berikut:
 - a) Gigi-gigi khusus, tumbuhnya gigi pada jenis hewan karnivora atau pemakan daging beradaptasi menjadi empat gigi taring besar dan runcing untuk merobek dan memotong, serta tumbuhnya gigi geraham yang tajam untuk mencabik-cabik daging mangsanya.
 - b) Paruh, tumbuhnya paruh pada jenis burung (aves) berfungsi untuk mencengkeram mangsa. Contohnya, burung elang mempunyai paruh yang sangat kuat dan ujungnya tajam.
 - c) Moncong, jenis hewan yang memiliki moncong adalah hewan trenggiling dengan termasuk jenis hewan menyusui yang mempunyai moncong panjang, ujung mulut kecil, tidak bergigi dengan lubang berbentuk celah kecil untuk mengisap semut

dari sarangnya, memiliki lidah panjang dan bergetah yang dapat dijulurkan untuk menangkap mangsanya. Trenggiling besar hidup di hutan rimba Amerika Tengah dan Selatan.

- d) Daun, seperti: tumbuhan insektivora, dengan ciri-ciri: memiliki kantong semar, bentuk daun mirip piala dengan permukaan yang licin yang menyebabkan mangsa dapat tergelincir. Dengan bantuan enzim mangsa tersebut akan dilumatkan, sehingga tumbuhan ini memperoleh unsur yang dibutuhkan.
 - e) Akar, secara umum fungsi akar adalah menyerap unsur hara. Akar tunjang pada tumbuhan kaktus yang hidup di gurun sangat panjang dan kuat, yang berfungsi untuk menyerap air yang terletak jauh di dalam tanah. Sedangkan akar hawa pada tumbuhan maagrove atau bakau berfungsi untuk bernapas.
- 2) Adaptasi fisiologi, merupakan adaptasi atau penyesuaian fisiologi untuk mempertahankan kelangsungan hidupnya. Contoh adaptasi fisiologi, sebagai berikut:
- a) Kelenjar bau, contohnya pada hewan musang yang dapat mengeluarkan atau mensekresikan bau busuk dengan cara menyemprotkannya cairan melalui sisi lubang bagian dubur. Fungsi dari cairan tersebut adalah menghindar dari serangan musuh atau predator.
 - b) Kantong tinta, contohnya pada golongan pisces, yakni cumi-cumi dan gurita yang memiliki kantong tinta berisi cairan hitam. Tinta pada cumi-cumi dan gurita berfungsi untuk mengelabui musuh atau pemangsa, dengan cara apabila musuh datang, tinta disemprotkan di sekitarnya sehingga musuh tidak dapat melihat keberadaan cumi-cumi dan gurita.
 - c) Mimikri, contohnya mimikri pada kadal, kulit kadal mengandung pigmen yang dapat mengubah warna. Perubahan warna ini juga dipengaruhi oleh produksi hormon dan keadaan temperatur lingkungannya.
- 3) Adaptasi tingkah laku, merupakan adaptasi atau penyesuaian yang didasarkan pada tingkah laku. Contoh adaptasi tingkah laku, sebagai berikut:
- a) Mati suri atau pura-pura tidur, contohnya pada jenis hewan tupai Virginia. Hewan ini sering berpura-pura tidur atau mati suri dengan cara sering berbaring tidak berdaya dengan mata tertutup apabila didekati oleh predator atau pemangsa.

- b) Migrasi, contohnya ikan salem melakukan migrasi untuk mencari tempat yang sesuai untuk bertelur. Ikan salem ini hidup di laut, namun setiap tahun ikan salem dewasa menuju teluk disepanjang pantai barat Amerika Utara untuk melakukan migrasi menuju ke sungai. Ketika berada di sungai, ikan salem jantan mengeluarkan sperma di atas telur-telur ikan betina. Telur yang telah menetas untuk sementara tinggal di air tawar. Setelah menjadi lebih besar mereka bergerak ke bagian hilir dan akhirnya ke laut. Sedangkan ikan salem dewasa biasanya mati.

b. Populasi

Populasi adalah semua individu sejenis yang menempati suatu daerah tertentu atau sekumpulan individu sejenis yang hidup pada suatu daerah dan waktu tertentu disebut populasi. Misalnya, populasi pohon jati di sebuah hutan pada tahun 2000 berjumlah 5500 batang. Jadi populasi adalah kumpulan individu yang menghuni suatu tempat tertentu dan terdiri dari satu jenis yang hidup bersama membentuk kelompok dan telah mampu beradaptasi.

Suatu organisme disebut sejenis manakala memenuhi persyaratan sebagai berikut:

- 1) menempati wilayah atau habitat yang sama.
- 2) memiliki persamaan morfologi, fisiologi dan tingkah laku.
- 3) mampu berkembang biak dengan menghasilkan keturunan.

Sebagai contoh: pada suatu wilayah dengan luas 1000 m² terdapat 400 tanaman kacang, 200 ekor belalang, 50 ekor jangkrik, 7 ekor burung, 4 ekor ular, 12 ekor tikus, 5 pohon kelapa. Berdasarkan data, maka di dalam wilayah tersebut dihuni oleh beberapa populasi, yakni populasi kacang tanah, populasi belalang, populasi jangkrik, populasi burung, populasi ular, populasi tikus dan poluasi kelapa.

Populasi yang hidup pada suatu habitat atau tempat tertentu, dapat memenuhi kebutuhannya karena lingkungan menyediakan dan memiliki kemampuan untuk mendukung kelangsungan kehidupan populasi tersebut. Kemampuan lingkungan untuk mendukung kehidupan sebuah populasi disebut daya dukung (*carrying capacity*). Daya dukung merupakan jenis sumber daya alam yang terdapat pada lingkungan tertentu.

Walaupun demikian, kemampuan lingkungan menyediakan sumber daya mempunyai keterbatasan, sehingga apabila kondisi lingkungan berubah maka daya dukung lingkunganpun mengalami perubahan. Hal ini disebabkan daya dukung lingkungan sangat dipengaruhi oleh faktor pembatas, seperti: cuaca, iklim, pembakaran, banjir, gempa, bahkan hasil aktivitas manusia.

Keadaan sebaliknya dapat dilakukan oleh manusia, dengan mengembangkan memodifikasi komunitas alami serta mengubah daya dukungnya. Akibatnya nilai daya dukung naik dengan memasukkan komponen lingkungan yang menjadi faktor pembatas. Misalnya: melakukan pemupukan pada lahan pertanian padi, hal ini akan meningkatkan kesuburan tanah di tempat tersebut.

Kumpulan populasi yang menghuni suatu tempat tertentu dan terdiri dari berbagai jenis yang hidup bersama membentuk kelompok dan telah mampu beradaptasi disebut komunitas. Organisme yang berasal dari berbagai jenis membentuk kelompok yang di dalamnya setiap individu memperoleh lingkungan yang dapat memenuhi kebutuhan hidupnya.

Ukuran populasi mengalami perubahan seiring dengan waktu. Perubahan ukuran dalam populasi disebut dinamika populasi. Perubahan ini dapat dihitung dengan menggunakan formulasi perubahan jumlah dibagi waktu. Hasilnya adalah kecepatan perubahan dalam populasi. Misalnya, tahun 1990 populasi pohon Gahru di Hutan Senaru tercatat 1500 batang. Kemudian pada tahun 2000 dihitung lagi ternyata berjumlah 1000 pohon Gaharu. Dari data tersebut mencerminkan bahwa selama 10 tahun terjadi pengurangan pohon Gaharu sebanyak 500 batang. Untuk mengetahui kecepatan perubahan maka kita membagi jumlah batang pohon yang berkurang dengan lamanya waktu perubahan terjadi : $1500 - 1000 = 500$ batang. Hal ini berarti bahwa terjadi pengurangan pohon Gaharu sebanyak 50 batang setiap tahun sejak rentang waktu pada tahun 2000 – 1990 selama 10 tahun. Dari rumus hitungan di atas dapat disimpulkan bahwa rata-rata berkurangnya pohon Gaharu tiap tahun adalah 50 batang.

Terdapat berbagai faktor yang menyebabkan terjadinya perubahan kecepatan rata-rata dinamika populasi. Seperti faktor alam yang disebabkan oleh bencana alam, kebakaran, serangan penyakit, sedangkan dari kegiatan manusia misalnya karena penebangan liar dan pengambilan sebagai kayu bakar dan lain-lain.

Pada dasarnya populasi memiliki karakteristik tertentu yang tidak dimiliki oleh masing-masing individu anggotanya. Karakteristik yang dimaksud adalah: kepadatan (densitas), laju kelahiran (natalitas), laju kematian (mortalitas), potensi biotik, penyebaran umur, dan bentuk pertumbuhan. Natalitas dan mortalitas merupakan kunci utama dalam pertumbuhan populasi.

Dinamika populasi dapat juga disebabkan peristiwa imigrasi dan emigrasi. Terutama bagi organisme yang dapat bergerak (*mobile*), misalnya pada jenis hewan dan manusia. Imigrasi adalah peristiwa perpindahan satu atau sekelompok organisme dari satu tempat menuju daerah lain. Peristiwa migrasi menyebabkan terjadinya peningkatan populasi, karena suatu daerah didatangi oleh sekelompok organisme tertentu. Emigrasi adalah peristiwa perpindahan organisme yang disebabkan meninggalkan suatu daerah oleh satu atau kelompok organisme, sehingga jumlah populasi akan menurun.

Pada prinsipnya, peristiwa imigrasi dan natalitas akan menyebabkan jumlah populasi akan mengalami peningkatan atau penambahan, sedangkan peristiwa emigrasi dan mortalitas akan menurunkan jumlah populasi. Secara alami populasi hewan maupun tumbuhan dapat mengalami perubahan, namun perubahan yang terjadi tidak selalu ekstrim. Sehingga penambahan atau penurunan jumlah populasi dapat menyolok apabila terdapat gangguan, misalnya serangan penyakit, bencana alam.

Apabila jumlah individu per unit luas bertambah seiring dengan waktu, maka disebut kepadatan atau kerapatan (istilah kepadatan digunakan pada manusia atau hewan, sedangkan istilah kerapatan diberlakukan pada pertumbuhan). Kepadatan populasi berakibat pada kebutuhan sumber daya seperti: bahan makanan, tempat tinggal dan lain-lain dan jika kemampuan alam atau lingkungan terlampaui untuk menyediakan sumber daya, maka akan muncul persaingan atau kompetisi. Dalam persaingan biasanya menimbulkan daya juang untuk mempertahankan kelangsungan hidup, yang “kuat” akan mengeksploitasi yang “lemah”. Karena itu, dalam berkompetisi atau persaingan akan mengakibatkan dua peristiwa, yakni:

- 1) Akibat ekologi, yang berlangsung dalam jangka waktu yang singkat.
- 2) Akibat evolusi, yang terjadi dalam jangka waktu yang panjang.

Selanjutnya dalam waktu yang singkat, akibat ekologi itu tercermin dalam bentuk: kelahiran dan emigrasi.

Kepadatan populasi tercermin dalam hubungan jumlah individu tiap m^3 . Untuk hewan yang hidup di darat pada umumnya menggunakan satuan m^2 . Misalnya, kepadatan populasi rusa di sebuah padang rumput adalah 0,5 untuk tiap m^2 . Untuk mencari kepadatan populasi digunakan rumus sebagai berikut:

$$D = \frac{N}{S}$$

Keterangan:

D = Densus atau kepadatan.

N = Numerus atau jumlah.

S = Spatum atau ruang yang di tempati.

Misalnya, dalam sebuah kolam yang berukuran $10\text{ m} \times 5\text{ m} \times 5\text{ m}$ hidup ikan lele sebanyak 50 ekor. Dalam hal ini, kita katakan bahwa kepadatan populasi ikan lele di dalam kolam itu 50 ekor untuk 250 m^3 . Jadi, kepadatan ikan lele di dalam kolam.

$$D = \frac{50\text{ ekor}}{0,25\text{ m}^3} = 200\text{ ekor/m}^3$$

Perubahan kepadatan populasi di sebabkan oleh:

- 1) Mortalitas (angka kematian).
- 2) Natalitas (angka kelahiran).
- 3) Imigrasi/emigrasi (perpindahan).

c. Komunitas

Komunitas adalah kumpulan dari beragam populasi yang hidup pada waktu dan tempat tertentu yang saling berinteraksi dan mempengaruhi satu sama lain. Komunitas mempunyai keadaan yang lebih kompleks dibandingkan dengan individu dan populasi. Dalam komunitas, seluruh makhluk hidup merupakan bagian dari komunitas tersebut dan menciptakan interaksi, dimana setiap individu menemukan lingkungannya yang dapat memenuhi kebutuhannya. Di dalam kelompok atau kumpulan itu terdapat suatu kerukunan untuk hidup bersama, terdapat hubungan

timbang balik yang saling menguntungkan (mutualisme), namun ada pula yang merugikan.

Ciri khas dari suatu komunitas adalah terdapat keanekaragaman. Semakin beranekaragam komponen biotik, maka semakin tinggi keanekaragaman ditempat tersebut. Sebaliknya makin rendah keanekaragaman komponen biotik maka semakin rendah pula keanekaragamannya.

Misalnya: keaneragaman rendah; terdapat pada komunitas dengan lingkungan ekstrim, seperti: di habitat gurun, tanah kering, tanah tandus, di puncak pegunungan tinggi. Sedangkan daerah yang dengan keanekaragaman tinggi adalah hutan tropika (di kawasan tropika jarang sekali terjadi komunitas alami dirajai oleh hanya satu jenis). Keaneragaman tinggi sering disebut *diversity is stability*.

Pada komunitas atau ekosistem dapat terjadi perubahan yang berlangsung menuju ke satu arah secara teratur yang dikenal sebagai suksesi. Suksesi terjadi sebagai akibat dari perubahan lingkungan fisik dalam komunitas atau ekosistem tertentu. Proses suksesi berakhir dengan sebuah komunitas atau ekosistem yang disebut klimaks. Apabila suatu komunitas telah mencapai klimaks, maka tercapai keadaan homeostatis (keseimbangan).

Proses suksesi terdiri dari dua, yakni suksesi primer dan sekunder. Terjadinya suksesi primer manakala komunitas asal terganggu dan gangguan tersebut mengakibatkan hilangnya komunitas asal secara totalitas, tidak satupun organisme yang bertahan hidup pada habitat tersebut, sehingga di tempat komunitas asal itu akan terbentuk habitat baru atau substrat baru.

Suksesi sekunder terjadi apabila komunitas atau ekosistem alami terganggu, namun gangguan tersebut (alami maupun buatan) tidak mengakibatkan rusaknya komunitas secara keseluruhan, sehingga substrat lama dan organisme yang lain masih dapat bertahan hidup. Substrat atau kehidupan lama inilah yang menjadi tumbuhan pelopor untuk membentuk komunitas kembali.

Kombinasi antara habitat dengan fungsi spesies pada suatu daerah tertentu, dikenal dengan istilah nisia (*niche*). Konsep nisia ini sangat penting untuk memprediksi jenis tumbuhan atau hewan yang dijumpai pada suatu komunitas. Disamping itu juga, konsep nisia digunakan untuk menaksir kepadatan serta fungsinya suatu komunitas.

d. Ekosistem

Ekosistem merupakan tatanan secara utuh menyeluruh dari seluruh unsur lingkungan hidup yang saling mempengaruhi. Atau Interaksi antara komunitas dan lingkungan fisik kimianya akan menciptakan kesatuan ekologi yang disebut ekosistem. Komponen-komponen penyusun ekosistem terdiri dari: produsen (tumbuhan hijau), konsumen (herbivora, karnivora, dan omnivora), dan dekomposer (mikroorganisme).

Ekosistem sebuah konsep penting dalam bidang ekologi, yakni suatu sistem ekologi yang terbentuk karena adanya hubungan timbal balik antara makhluk hidup dengan lingkungannya. Jadi, ekosistem adalah tatanan kesatuan secara utuh menyeluruh antara seluruh unsur lingkungan hidup yang saling mempengaruhi. Ekosistem tersusun dari komponen hidup (biotik) dan komponen tak hidup (abiotik) yang saling berinteraksi membentuk suatu kesatuan yang teratur. Dimana keteraturan terjadi karena adanya arus materi dan energi, yang terkendali oleh arus informasi antara komponen dalam ekosistem. Masing-masing komponen mempunyai fungsi (relung).

Berdasarkan sejarah terbentuknya, ekosistem dapat dibedakan menjadi 3 (tiga) komponen, yakni:

- 1) Ekosistem alami, yakni ekosistem yang terbentuk secara alami, tanpa pengaruh dari keinginan dan aktivitas manusia. Misalnya: ekosistem hutan tropis, ekosistem hutan gugur, ekosistem gurun pasir, ekosistem mangrove, ekosistem rawa-rawa dan sebagainya. Setiap ekosistem mempunyai karakteristik tertentu, dimana ciri khas tersebut dipengaruhi oleh faktor fisik dan kimia lingkungan.
- 2) Ekosistem artifisial/buatan, yakni ekosistem yang terbentuk atau sengaja dibuat oleh manusia. Misalnya: ekosistem bendungan, waduk, kolam, sawah, ladang dan lain-lain.
- 3) Ekosistem suksesi, yakni ekosistem yang terbentuk sebagai akibat dari hasil suksesi lingkungan yang sebelumnya ekosistem tersebut mengalami kerusakan. Pada lingkungan tersebut jenis tumbuhan yang berkembang ditentukan oleh organisme yang hidup disekitarnya.

Faktor abiotik merupakan faktor non hayati yang terdiri dari keadaan fisik dan kimia. Keadaan fisik utama yang mempengaruhi ekosistem adalah:

1) Temperatur (suhu)

Suhu berpengaruh terhadap ekosistem sebab merupakan salah satu syarat yang diperlukan oleh organisme untuk mempertahankan kelangsungan hidupnya. Beberapa jenis organisme tertentu memiliki kisaran hidup pada suhu tertentu.

2) Air

Air merupakan kebutuhan vital bagi seluruh makhluk hidup untuk menjamin kelangsungan hidupnya. Untuk tumbuh-tumbuhan, air diperlukan untuk melakukan pertumbuhan, perkecambahan, bahkan penyebaran biji; sedangkan bagi hewan dan manusia, air diperlukan untuk menjalankan sistem metabolismenya juga sebagai tempat hidup bagi organisme tertentu. Termasuk air juga digunakan sebagai pelarut dan mempercepat proses pelapukan.

3) Tanah

Hampir seluruh organisme membutuhkan tanah sebagai habitat untuk menjalankan seluruh aktivitas hidupnya. Disamping itu, tanah menyediakan unsur hara untuk pertumbuhan dan perkembangan tumbuh-tumbuhan. Perbedaan sifat fisik dan kimia tanah mengakibatkan organisme yang hidup didalamnya juga berbeda-beda.

4) *Altitude*

Ketinggian tempat dapat mengakibatkan perbedaan faktor fisik dan kimia di lingkungan tertentu, sehingga dapat menentukan jenis makhluk hidup di tempat itu. Kemampuan adaptasi suatu organisme pada ketinggian tertentu berdampak pada keberadaan jenis untuk tumbuh dan berkembang biak.

5) Angin

Angin merupakan salah satu faktor fisik yang berpengaruh terhadap tingkat kelembapan suatu tempat dan faktor angin merupakan salah satu media untuk penyebaran biji tumbuhan tertentu.

6) Garis Lintang

Garis lintang pada daerah-daerah tertentu akan menunjukkan kondisi lingkungan fisik dan kimia yang berbeda pula. Garis lintang

secara tidak langsung dapat dijadikan sebagai penyebaran organisme di permukaan bumi.

Berdasarkan fungsinya ekosistem terdiri dari 2 (dua) komponen, yakni:

- 1) Komponen autotrofik, adalah: tumbuhan yang memiliki kemampuan untuk membuat atau mensintesis makanannya sendiri berupa bahan organik dan anorganik dengan bantuan energi matahari.
- 2) Komponen heterotrofik, adalah: tumbuhan yang hanya mampu memanfaatkan dan menggunakan bahan-bahan organik sebagai bahan makanannya yang disintesis dan disediakan oleh organisme autotropik.

Berdasarkan segi penyusunnya ekosistem terdiri dari 4 (empat) komponen, yakni:

- 1) komponen abiotik merupakan substrat atau medium untuk berlangsungnya kehidupan. Komponen non hayati ini terdiri dari komponen fisik dan kimia, misalnya suhu, cahaya, pH, air dan lain-lain
- 2) Produsen, merupakan organisme yang bersifat autotropik yang mengandung zat hijau hijau.
- 3) Konsumen, merupakan organisme yang bersifat heterotropik yakni hewan atau binatang.
- 4) Dekomposer (pengurai), organisme heterotrofik yang mampu mengurai bahan organik yang berasal dari organisme mati

e. Biosfer

Biosfer merupakan kumpulan dari seluruh ekosistem yang terdapat di permukaan bumi ini. Biosfer dipercaya sebagai tempat beroperasinya ekosistem. Bagian bumi yang disebut ekosistem adalah wilayah yang dapat dihuni oleh organisme atau daerah yang memiliki ciri-ciri kehidupan. Misalnya daerah yang dapat dihuni oleh organisme adalah beberapa meter di bawah permukaan tanah hingga 8.000 meter di atas permukaan bumi, beberapa meter di bawah permukaan laut. Sehingga tidak semua bagian dari bumi ini terdapat ekosistem.

Dalam spektrum biologi tingkatan organisasi yang lebih tinggi dari komunitas adalah ekosistem. Ekosistem meliputi berbagai spesies tumbuhan, berbagai siklus materi dan energi yang merupakan

karakteristik sekaligus menjadi sumber kekuatan suatu ekosistem. Cahaya matahari sebagai sumber energi utama pada suatu ekosistem.

Terbentuknya jaringan hidup tergantung pada efektifitas tumbuhan menyerap berbagai bahan mineral (unsur hara) dalam tanah, kemudian diolah dalam proses metabolisme. Tumbuhan sebagai produsen menghasilkan jaringan hidup, seperti bunga, daun, buah, biji, dan umbi dimanfaatkan oleh herbivora sebagai sumber energi. Hewan herbivora menjadi sumber energi bagi pemangsa hewan karnivora, selanjutnya karnivora dimangsa oleh predator yang tingkatannya lebih tinggi, yakni hewan omnivora.

Hewan maupun tumbuhan yang membentuk jaringan hidup mengalami siklus mati, sebagai sampah menjadi nutrisi bagi mikroba. Jaringan hidup tersebut mengalami dekomposisi yang dilakukan oleh mikroorganisme menjadi humus. Humus yang terbentuk melalui proses mineralisasi menjadi bahan mineral. Mikroba yang hidup di dalam tanah sangat penting keberadaannya sebagai pembusuk dan pengurai.



Gambar 8.1. Rantai Makanan

Apabila suatu ekosistem terganggu, dimana siklus materi dan transfer energi terpotong, maka komponen dalam ekosistem, termasuk manusia, mengalami gangguan sampai keseimbangan baru tercapai. Dalam mencapai keseimbangan baru itu, terkadang suatu populasi terpaksa tersingkirkan dari ekosistem atau dengan kata lain mungkin punah.

Faktor-faktor fisik yang sangat berpengaruh terhadap ekosistem adalah:

- a) Cahaya matahari.
- b) Temperatur.
- c) Presipitasi air hujan.

- d) Angin.
- e) Iklim dan cuaca.
- f) Latitude (jarak dari katulistiwa).
- g) Altitude (tinggi dari permukaan laut).
- h) Struktur dan tekstur tanah.
- i) Kebakaran lahan.
- j) Arus dan gelombang laut.
- k) Kecepatan sedimentasi.

Adapun faktor kimiawi yang sangat berpengaruh terhadap ekosistem ialah:

- a) Kandungan air dan oksigen dalam tanah.
- b) Kandungan unsur nutrisi tanaman.
- c) Sainitas air laut.
- d) Kandungan oksigen terlarut dalam air.

Dalam suatu sistem ekologi, komponen biotik diklasifikasikan dalam dua bentuk yaitu produsen dan konsumen. Klasifikasi tersebut didasarkan atas bagaimana mereka dapat memperoleh makanan atau unsur nutrisi organik untuk mempertahankan kehidupan mereka.

a) Produsen

Makhluk hidup yang tergolong produsen ini biasanya juga disebut autotrof: kelompok organisme yang dapat memproduksi senyawa organik yang mereka perlukan sebagai unsur nutrisi dari bahan senyawa anorganik yang diperoleh dari lingkungan sekitarnya. Pada kebanyakan ekosistem darat, tanaman hijau termasuk dalam kategori produsen. Sedangkan pada ekosistem air, fitoplankton merupakan produsen yang terdiri dari bermacam spesies dari jenis bakteri dan protozoa. Kelompok produsen ini ialah kelompok organisme yang dapat membuat makanan untuk dirinya sendiri. Kelompok organisme, selain produsen ialah kelompok organisme konsumen yang hidupnya bergantung secara langsung ataupun tidak langsung pada makanan yang disediakan oleh produsen.

b) Konsumen

Organisme lain dalam suatu ekosistem diklasifikasikan sebagai konsumen atau heterotrof. Kelompok organisme ini tidak dapat mensintesis nutrisi organik yang mereka perlukan; mereka

memperoleh nutrisi organik dengan jalan memakan produsen atau konsumen lain. Ada beberapa kelas konsumen yang bergantung pada jenis pakannya.

- 1) Konsumen primer (herbivora); memakan langsung tanaman atau jenis produsen lainnya.
- 2) Konsumen sekunder (karnivora); hanya memakan konsumen primer. Kebanyakan konsumen sekunder adalah binatang, tetapi ada juga beberapa jenis tanaman pemakan serangga (kantong semar).
- 3) Konsumen tertier (konsumen tingkat tinggi); hanya memakan binatang pemakan binatang (karnivora).
- 4) Omnivora (pemakan segala); memakan tanaman dan binatang.
- 5) Detritivora (pemakan sisa-sisa); memakan bagian-bagian organisme yang mati dan mengubahnya menjadi partikel organik. Organisme satu sel yang termasuk kelompok ini ialah bakteri dan jamur yang disebut juga dekomposer (pengurai), yang merupakan sumber pakan penting untuk makanan cacing dan serangga yang hidup dalam tanah atau air.



Gambar 8.2. Jaring-jaring Makanan

C. Lingkungan Hidup

1. Definisi Lingkungan Hidup

Lingkungan hidup adalah semua benda dan kondisi yang terdapat di dalam ruang dimana manusia itu berada dan berpengaruh terhadap kelangsungan dan kesejahteraan manusia (Munajat Sautra). Lingkungan hidup ialah suatu benda atau kondisi yang berada di dalam ruang yang kita tempati yang mempengaruhi kehidupan manusia (Otto Sumarwoto). Lingkungan hidup adalah segala benda, kondisi, keadaan dan pengaruhnya yang terdapat di dalam ruang yang mempengaruhi segala yang berada di dalam ruang yang kita tempati (Emil Salim). Lingkungan hidup adalah semua faktor eksternal yang bersifat biologis dan fisika yang langsung mempengaruhi kehidupan, pertumbuhan, perkembangan dan reproduksi organisme (S.J. Mc Naughton and Larry L. Wolf). Lingkungan hidup dapat diartikan sebagai kondisi faktor fisik, kimia dan biotik serta keadaan sekelilingnya dan organisme (Michael Allaby).

Berdasarkan Undang-Undang Pengelolaan Lingkungan Hidup Nomor 23 Tahun 1997, lingkungan hidup adalah kesatuan ruang dengan semua benda, daya, keadaan dan makhluk hidup, termasuk manusia dan perilakunya yang mempengaruhi kelangsungan perikehidupan dan kesejahteraan manusia serta makhluk hidup lain.

Benda yang dimaksudkan dikelompokkan sebagai materi dalam satu-satuannya yang berada pada tempat, waktu tertentu. Ruang merupakan wadah dimana berbagai komponen berada (tempat berlangsungnya ekosistem). Daya dapat diartikan sebagai energi yang memberikan kemampuan untuk menjalankan kerja. Di alam jumlah energi konstant, tidak mengalami perubahan (hukum kekekalan energi/konservasi energi). Keadaan dapat diartikan sebagai situasi atau kondisi (baik situasi yang mengancam keselamatan lingkungan atau keadaan yang memperbaiki daya dukung lingkungan). Manusia dan perilakunya yang mempengaruhi makhluk lainnya. Dalam hal ini akan menimbulkan interaksi satu dengan yang lainnya yang selanjutnya akan terjadi dalam bentuk rantai makanan.

Dalam lingkungan hidup terdapat ekosistem, yakni tatanan unsur lingkungan hidup yang merupakan kesatuan utuh menyeluruh dan saling mempengaruhi dalam membentuk keseimbangan, stabilitas dan produktivitas lingkungan hidup adalah kesatuan ruang dengan segala benda dan makhluk hidup termasuk manusia dan perilakunya yang mempengaruhi kelangsungan manusia dan makhluk hidup lainnya.

D. Pencemaran Lingkungan

1. Pengertian pencemaran lingkungan

Pencemaran lingkungan adalah masuk atau dimasukkannya makhluk hidup, zat dan energi dan atau komponen lain ke dalam lingkungan dan atau berubahnya komposisi atau tatanan air udara oleh kegiatan manusia dan proses alam, sehingga kualitas lingkungan menjadi rendah dan tidak dapat berfungsi lagi sesuai dengan peruntukannya. Dengan kehadiran industri dan dampak dari berbagai kegiatan manusia yang tidak terkendali maka beban lingkungan menjadi semakin cepat terlampaui yang pada akhirnya menimbulkan fenomena pencemaran terus mengalami peningkatan dari tahun ke tahun. Karena itu untuk mengendalikan pencemaran lingkungan maka perlu diberlakukan dan ditetapkan standar mutu lingkungan. Baku mutu lingkungan adalah batas konsentrasi yang diperbolehkan bagi zat atau bahan pencemar terdapat di lingkungan dengan tidak menimbulkan gangguan pada makhluk hidup atau benda lainnya.

2. Macam-macam Pencemaran

Pada umumnya pencemaran lingkungan dikategorikan menjadi tiga, yakni pencemaran air, tanah dan udara.

- a. Pencemaran air, adalah suatu perubahan keadaan yang terjadi di daerah-daerah atau tempat-tempat penampungan air, seperti laut, sungai, danau, sawah, air tanah dan lain-lain yang disebabkan oleh kegiatan manusia. Misalnya pembuangan sisa aktivitas pertanian menyebabkan meningkatnya kandungan nutrisi pada badan air sehingga menimbulkan eutrofikasi. Pembuangan sampah organik pada badan sungai menyebabkan menurunnya oksigen terlarut di dalam air sehingga menimbulkan kegoncangan pada ekosistem tersebut (organisme kekurangan persediaan oksigen terlarut). Pembuangan sampah yang dilakukan oleh aktivitas industri atau pabrik berupa berbagai logam berat, toksin organik, minyak, nutrisi dan padatan yang dapat merusak ekosistem.
- b. Pencemaran udara adalah terlepasnya berbagai zat ke udara baik berupa polutan fisik, kimia maupun biologis ke atmosfer dalam jumlah yang membahayakan kesehatan manusia, hewan dan merusak tumbuhan serta mengubah estetika dan mengganggu kenyamanan. Pencemaran udara dapat ditimbulkan oleh sumber-sumber alami maupun kegiatan manusia. Pencemaran udara dapat diakibatkan oleh

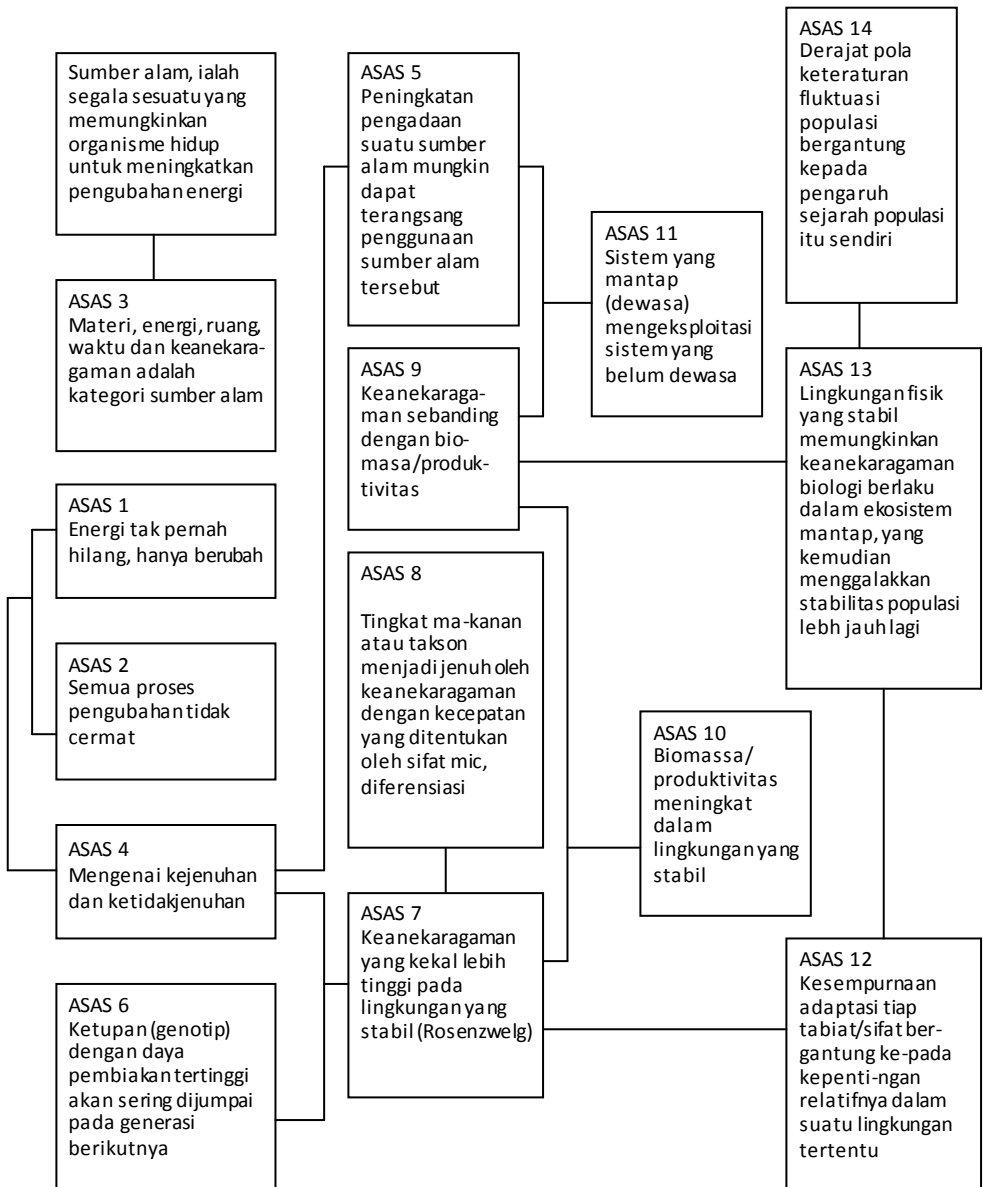
suara, panas, radiasi atau polusi cahaya. Pencemaran udara dapat dibedakan menjadi pencemar primer dan pencemar sekunder. Pencemar primer adalah substansi pencemar yang ditimbulkan secara langsung dari sumber pencemar udara. Contohnya pencemaran oleh karbonmonoksida yang merupakan hasil dari pembakaran. Pencemar sekunder adalah substansi pencemar yang terbentuk dari reaksi-reaksi pencemar primer di atmosfer. Contohnya pembentukan ozon dalam smog fotokimia. Sekarang ini keprihatinan terhadap kondisi udara kita semakin memprihatinkan, pertumbuhan industri, kendaraan bermotor, pembakaran hutan atau semak dari tahun ke tahun terus mengalami peningkatan sehingga menimbulkan efek pencemaran lintas negara. Terjadinya fenomena pemanasan global, perubahan iklim dan deplesi ozon di atmosfer atau stratosfer semakin parah. Sehingga diperlukan upaya dan langkah konkrit dari pimpinan-pimpinan antar negara untuk mengangulangi dampak pencemaran udara yang semakin memburuk.

- c. Pencemaran tanah, adalah kehadiran substansi kimia, fisik dan biologis yang dapat merubah keadaan alami tanah. Misalnya peristiwa kebocoran limbah cair atau bahan kimia yang masuk ke dalam tanah, pembuangan limbah anorganik ke dalam tanah, pembuangan limbah pertanian langsung ke tanah dan pembuangan zat beracun langsung ke dalam tanah. Ketika limbah beracun telah mencemari tanah akan berdampak pada kesehatan manusia, sebab limbah beracun dapat terhirup langsung oleh manusia atau masuk ke dalam tanah dan bercampur dengan air tanah dalam sumur, sehingga ada peluang untuk diminum.

E. Asas-asas dalam Ilmu Lingkungan

Pada dasarnya ilmu lingkungan (*Environmental Science* atau envirologi) adalah ilmu yang mempelajari dan mendalami yang berkaitan dengan lingkungan hidup. Dalam ilmu lingkungan mengkaji berbagai konsep dan asas ekologi. Jadi, ilmu lingkungan adalah penjabaran dari penerapan disiplin ilmu ekologi. Karena itu, ilmu lingkungan merupakan integrasi konsep berbagai disiplin ilmu, seperti ekologi, meteorologi, klimatologi, biokimia, geografi, geologi termasuk disiplin ilmu ekonomi dan lain-lain. Ilmu lingkungan disebut sebagai bidang interdisipliner yang merupakan poros asas dan konsep berbagai disiplin ilmu yang saling berkaitan.

Diagram berikut ini, menggambarkan keterkaitan dan hubungan secara logis di antara ke 14 (empat belas) asas dalam konsep ilmu lingkungan menurut Watt yang dikutip oleh Soemarno, sebagai berikut:⁵⁸



Gambar. 8.3. Keterkaitan Logis ke 14 Asas dalam Ilmu Lingkungan

⁵⁸ Soemarno, *Ekologi dan Ilmu Lingkungan*. Bahan Kajian MK. Pengantar Ilmu Lingkungan. (PMPSLP PPSUB: 2011). 12

Timbulnya asas pada dasarnya untuk menyamakan persepsi kesimpulan secara umum pada bidang ilmu tertentu yang digunakan untuk menjelaskan fakta, fenomena maupun gejala yang lebih spesifik.

Kebenaran suatu asas dapat diakui oleh seluruh ilmuan maupun masyarakat secara meluas manakala asas tersebut telah melalui pengujian berulang-ulang secara metodologis. Namun, ada pula asas yang hanya diakui oleh sebagian dari para ilmuan, sebab asas tersebut hanya benar pada situasi dan kondisi tertentu. Suatu asas dapat ditingkatkan statusnya menjadi hukum manakala telah melalui pengujian secara terus menerus dan hasilnya dapat dipertahankan.

1. Asas 1 menyatakan bahwa semua energi yang memasuki sebuah organisme hidup, populasi atau ekosistem dapat dianggap sebagai energi yang tersimpan atau dilepaskan. Hukum Termodinamika I berbunyi energi dapat diubah dari satu bentuk ke bentuk lain tetapi energi tidak dapat diciptakan, dimusnahkan atau dihilangkan, bahkan dihancurkan.

Asas 1 ini hampir sama dengan Hukum Termodinamika I (hukum konservasi energy). Contohnya: banyaknya energi yang terbuang dalam bentuk makanan diubah oleh jasad hidup menjadi energi untuk tumbuh, berbiak, proses metabolisme, sebagian terbuang sebagai panas.

2. Asas 2 mengemukakan bahwa tidak ada sistem perubahan energi yang benar-benar efisien.

Pengertian asas 2 ini dikenal sebagai asas entropi dan serupa dengan Hukum Termodinamika II, hal ini berarti bahwa energi yang tidak dapat hilang dari alam, namun energi akan terus berubah bentuk menjadi energi yang kurang bermanfaat. Dengan demikian, pemanfaatan energi oleh suatu organisme menjadi kurang efisien (energi banyak terbuang), karena sebagian energi dapat ditransfer dan dimanfaatkan oleh organisme lain dalam menjalankan sistem kehidupannya.

Contoh: sayur-sayuran atau buah-buahan merupakan sumber energi yang dibutuhkan oleh manusia. Namun pada sayur-sayuran maupun buah-buahan akan menghasilkan entropi (sisa-sisa) yang berupa: batang, cabang dari sayuran atau kulit dan daging buah yang merupakan sumber energi bagi jasad hidup lainnya.

3. Asas 3 menyebutkan bahwa materi, energi, ruang, waktu dan keanekaragaman, termasuk kategori sumberdaya alam.

Pengertiannya adalah perubahan energi pada sistem biologi harus berlangsung pada kecepatan yang sebanding dengan adanya materi dan energi di lingkungannya. Pengaruh ruang secara asas adalah beranalogi dengan materi dan energi sebagai sumber alam.

Contoh: Proses pembiakan suatu organisme terganggu pada kepadatan yang tinggi dan pada ruang yang sempit. Sebaliknya ruang yang terlalu luas akan mengakibatkan jarak antar individu dalam populasi akan semakin jauh, sehingga peluang ketemu antara jantan dan betina sangat kecil sehingga mengganggu proses pembiakan.

Demikian pula, jarak sumber makanan sangat berpengaruh terhadap perkembangan populasi. Sedangkan waktu sebagai sumber alam bukan merupakan besaran yang berdiri sendiri. Misalnya kerbau liar yang hidup di savana, pada musim kemarau, maka persediaan air terus menipis bahkan menjadi kering. Pada kondisi seperti ini, secara naluri hewan akan melakukan migrasi ke tempat lain yang memiliki potensi persediaan sumber air. Dalam melakukan proses migrasi faktor yang berpengaruh adalah waktu dan energi untuk menempuh jarak. Ada kalanya hewan berhasil mencapai tujuannya, namun ada pula yang mengalami kelelahan dan mati sebelum mencapai sumber air.

Keanekaragaman juga merupakan sumberdaya alam. Semakin beragam jenis makanan suatu spesies semakin kuat menghadapi perubahan lingkungan.

4. Asas 4 mengemukakan untuk semua kategori sumber alam, kalau pengadaannya sudah mencapai optimum, pengaruh unit kenaikannya sering menurun dengan penambahan sumber alam itu sampai ke suatu tingkat maksimum. Melampaui batas maksimum ini tidak ada pengaruh yang menguntungkan lagi.

Untuk semua kategori sumber alam (kecuali keanekaragaman dan waktu) kenaikan pengadaannya yang melampaui batas maksimum bahkan berpengaruh merusak karena kesan peracunan. Ini adalah asas penjumlahan.

Untuk banyak gejala sering berlaku kemungkinan penghancuran yang disebabkan oleh pengadaaan sumber alam yang sudah mendekati batas maksimum.

Asas 4 ini mengandung arti bahwa pengadaaan sumber alam memiliki batas optimum, yang bermakna pula batas maksimum maupun batas minimum pengadaaan sumber alam akan mengurangi daya kegiatan sistem biologi.

Contoh: pada keadaan lingkungan yang sudah stabil, populasi hewan atau tumbuhannya cenderung naik-turun (bukan naik terus atau turun terus). Artinya terjadi pengintensifan perjuangan hidup, apabila persediaan sumber alam berkurang. Namun sebaliknya terdapat ketenangan kalau sumber alam bertambah.

5. Asas 5 menyatakan bahwa ada dua jenis sumber alam dasar, yakni sumber alam yang pengadaannya dapat merangsang penggunaan secara berkelanjutan serta sumber alam yang tidak memiliki daya rangsang penggunaan secara berkelanjutan.

Contoh: jika terdapat jenis hewan sedang mencari berbagai sumber makanan. Kemudian ditemukan jenis sumber makanan yang melimpah di alam, maka hewan tersebut memusatkan perhatiannya kepada penggunaan jenis makanan tersebut. Oleh karena itu, kenaikan sumber alam akan merangsang kenaikan penggunaannya.

6. Asas 6 menyebutkan bahwa individu dan spesies yang memiliki lebih banyak keturunan daripada kompetitornya cenderung berhasil mengalahkan saingannya.

Asas ini adalah pernyataan teori Darwin dan Wallace. Bahwa tingkat adaptasi suatu individu dan jenis dipengaruhi oleh faktor lingkungan fisik atau biologis. Persaingan diakibatkan oleh kenaikan kepadatan populasi akan menimbulkan persaingan. Individu dan spesies yang kurang mampu beradaptasi akan kalah dalam persaingan. Sehingga individu dan spesies yang adaptif akan mampu menghasilkan banyak keturunan daripada yang non-adaptif.

7. Asas 7 berbunyi kemantapan keanekaragaman suatu komunitas lebih tinggi di alam yang "mudah diramal".

"Mudah diramal" maknanya adanya keteraturan yang pasti pada pola faktor lingkungan pada satu periode yang relatif lama. Terdapat fluktuasi turun-naiknya kondisi lingkungan di semua

habitat, namun mudah dan sukarnya untuk diramal berbeda dari satu habitat ke habitat lain. Dengan mengetahui keadaan optimum pada faktor lingkungan bafi kehidupan suatu spesies, maka perlu diketahui berapa lama keadaan tersebut dapat beertahan.

8. Asas 8 menyebutkan bahwa sebuah habitat dapat jenuh atau tidak oleh keanekaragaman takson, bergantung kepada bagaimana *niche* dalam lingkungan hidup itu dapat memisahkan takson tersebut.

Artinya bahwa kelompok taksonomi tertentu suatu jasad hidup ditandai oleh keadaan lingkungannya yang khas, yakni *niche* (tiap spesies memiliki *niche* tertentu). Spesies dan individu hidup berdampingan dengan spesies lain tanpa terjadinya persaingan karena masing-masing memiliki keperluan dan fungsi yang berbeda di alam.

9. Asas 9 menyatakan bahwa keanekaragaman komunitas sebanding dengan biomassa dibagi produktivitas.

Rumusnya:

$$T = K \times (B/P); D \approx T$$

Keterangan:

T = Waktu rata-rata penggunaan energi.

K = Koefisien tetapan.

B = Biomassa.

P = Produktivitas.

D = Kenakeragaman.

Asas ini mengandung makna bahwa efisiensi penggunaan aliran energi dalam sistem biologi menjadi meningkat dengan meningkatnya kompleksitas organisasi sistem biologi dalam suatu komunitas.

10. Asas 11 berbunyi pada lingkungan yang stabil perbandingan antara biomassa dengan produktivitas (B/P) dalam perjalanan waktu naik mencapai sebuah asimtot.

Artinya bahwa sistem biologi mengalami evolusi menuju kepada peningkatan efisiensi penggunaan energi dalam lingkungan fisik yang stabil, memungkinkan berkembangnya keanekaragaman.

11. Asas 11 menyebutkan bahwa sistem yang sudah mantap mengeksploitasi sistem yang belum mantap.

Artinya: bahwa ekosistem, populasi atau tingkat makanan yang sudah mantap mentransfer energi, biomasa, dan keanekaragaman dari tingkat organisasi yang belum mantap. Energi, materi dan keanekaragaman mengalir melalui suatu kisaran yang menuju ke arah organisasi yang lebih kompleks (dari subsistem yang rendah keanekaragamannya ke subsistem yang tinggi keanekaragamannya).

12. Asas 12 berbunyi kesempurnaan adaptasi suatu sifat atau perilaku bergantung pada kepentingan relatifnya dalam keadaan suatu lingkungan.

Artinya: bahwa populasi dalam ekosistem yang belum mantap, kurang bereaksi terhadap perubahan lingkungan fisikokimia dibandingkan dengan populasi dalam ekosistem yang sudah mantap. Populasi dalam lingkungan dengan kemantapan fisikokimia yang cukup lama, tidak perlu berevolusi untuk meningkatkan kemampuannya beradaptasi dengan keadaan yang tidak stabil.

13. Asas 13 menyebutkan bahwa lingkungan yang secara fisik mantap memungkinkan teradinya penimbunan keanekaragaman biologi dalam ekosistem yang mantap, kemudian dapat mengembangkan kemantapan populasi lebih jauh lagi.

Artinya: pada komunitas yang mantap, jumlah jalur energi yang masuk melalui ekosistem naik, sehingga apabila terjadi guncangan pada salah satu jalur, maka akan diambil alih oleh jalur yang lain. Sehingga kemantapan komunitas dapat terjaga.

14. Asas 14 menyatakan bahwa derajat pola keteraturan fluktuatif populasi tergantung pada jumlah keturunan dalam sejarah populasi sebelumnya yang nanti memengaruhi populasi itu.

Asas ini merupakan kebalikan dari asas ke 13, tidak adanya keanekaragaman yang tinggi pada rantai makanan dalam ekosistem yang belum mantap menimbulkan derajat ketidakstabilan populasi.

Berikut merupakan ciri-ciri komunitas yang dikategorikan mantap adalah:

- a. Jumlah jalur energi yang masuk melalui ekosistem meningkat.
- b. Lingkungan fisik yang mudah diramalkan.

- c. Sistem pengendali *feedback* (umpan balik) komunitas sangat kompleks.
- d. Penggunaan energi berlangsung secara efisien.
- e. Tingkat keanekaragaman yang tinggi.

BAB IX

EVOLUSI DAN ASAL USUL KEHIDUPAN

A. Uraian

Sejak tahun 1929, teori tentang evolusi menunjukkan adanya perkembangan yang cukup signifikan yang ditandai dengan penggunaan efek Dopler oleh Edwin Hubble untuk mengembangkan ide teori *Big Bang*, yang terjadi 14 miliar tahun lalu. Diperkuat oleh Arno Penzias dan Robert Wilson pada 1965 yang secara tidak sengaja menemukan sinyal *microwave* di alam semesta yang sejatinya memperkuat teori *big bang* sekaligus evolusi.

Evolusi pada prinsipnya adalah proses perubahan yang terjadi pada sifat terwariskan suatu populasi organisme dari satu generasi ke generasi berikutnya. Perubahan-perubahan ini disebabkan oleh kombinasi tiga proses utama, yakni: variasi, reproduksi, dan seleksi.

Sifat-sifat yang menjadi dasar evolusi ini dibawa oleh gen yang diwariskan kepada keturunan dan menghasilkan variasi dalam suatu kumpulan individu yang sejenis atau populasi. Pada saat makhluk hidup melakukan reproduksi, generasinya mempunyai sifat-sifat yang baru dan sifat baru tersebut diwariskan dari perubahan gen yang mengalami mutasi atau peristiwa transfer gen antar populasi dan antar spesies.

Individu yang bereproduksi secara seksual, hasil kombinasi gen yang baru dihasilkan dari rekombinasi genetik, yang dapat meningkatkan variasi antara organisme. Proses evolusi terjadi ketika perbedaan-perbedaan terwariskan ini menjadi lebih umum atau langka dalam suatu populasi.

Seorang Ilmuan pertama kali yang memprakarsai dan mencetuskan teori evolusi adalah Charles Darwin. Teori evolusinya terbukti mampu melewati pengujian ilmiah secara berulang-ulang. Sehingga setiap pembahasan tentang evolusi selalu diasosiasikan dengan teori Charles Darwin. Sampai sekarang, diyakini bahwa evolusi yang terjadi karena seleksi alam merupakan teori yang paling representatif dalam menjelaskan peristiwa evolusi.

B. Pengertian Evolusi

Evolusi merupakan salah satu cabang biologi yang mempelajari dan menelaah tentang sejarah asal-usul makhluk hidup dan hubungan secara genetik antara makhluk hidup satu dengan yang lain.

Evolusi adalah proses perubahan struktur makhluk hidup dari bentuk yang sederhana menjadi bentuk yang lebih kompleks dan berlangsung dari generasi ke generasi dalam jangka waktu yang sangat lama. Perubahan yang dimaksudkan adalah perubahan struktur dan fungsi makhluk hidup dari yang sederhana menjadi struktur dan fungsi yang kompleks dan beragam. Perubahan yang terjadi dalam peristiwa evolusi digolongkan menjadi dua, yaitu: perubahan progresif dan perubahan retrogresif.

Perubahan progresif yaitu perubahan yang terjadi pada struktur dan fungsi makhluk hidup dari keadaan sederhana menjadi yang lebih sempurna untuk dapat bertahan hidup. Perubahan retrogresif yaitu perubahan perkembangan struktur dan fungsi makhluk hidup menuju kepunahan. Kepunahan terjadi tidak hanya karena mundurnya struktur dan fungsi namun dapat terjadi akibat perkembangan struktur dan fungsi yang melewati proporsinya sehingga makhluk hidup tidak mampu lagi survive.

Perubahan struktur dan fungsi sangat dipengaruhi oleh struktur DNA dari makhluk hidup tersebut. Sehingga perubahan frekuensi gen dalam suatu populasi disebabkan faktor-faktor atau mekanisme evolusi. Faktor-faktor evolusi terdiri atas rekombinasi seksual, mutasi, seleksi alam, arus gen (*gen flow*) dan *genetic drift*.

C. Teori Evolusi Menurut Para Ahli

Gagasan atau teori mengenal evolusi biologis berkaitan erat dengan seorang ilmuwan bernama Charles Darwin (1809-1892). Sebenarnya, Charles Darwin bukanlah orang pertama yang mencetuskan evolusi, namun dalam mengemukakan pendapatnya yang dilengkapi dengan bukti-bukti yang dapat diterima oleh dunia ilmiah, maka Charles Darwin mendapat sebutan sebagai: "Bapak Evolusi".

Beberapa teori evolusi yang dikemukakan oleh para ilmuwan tentang sebagai berikut:

1. Teori Fixisme

Teori Fixisme dipercaya oleh para pemikir pada masa-masa terdahulu. Teori ini beranggapan terbentuknya beragam spesies makhluk hidup bersifat

independen, artinya manusia berasal dari manusia dan seluruh binatang yang lain juga berasal dari spesies mereka masing-masing.

2. Teori Transformisme

Teori transformisme menyatakan terjadi perubahan secara gradual karakteristik dan spesies seluruh makhluk hidup. Teori tersebut beranggapan pembentukan spesies-spesies sekarang ini berasal dari makhluk dan spesies yang berbeda. Filosof pertama yang mengklaim teori transformisme adalah Anaximander.

Anaximander adalah filosof kedua aliran Malthy setelah Thales. Anaximander mempunyai keyakinan bahwa elemen utama segala sesuatu adalah substansi yang tak terbatas, azali, dan supra zaman. Anaximander juga berkeyakinan bahwa kehidupan ini berasal dari laut dan bentuk seluruh binatang seperti yang kita lihat sekarang ini terwujud akibat proses adaptasi dengan lingkungan hidup.

3. Teori Katastropisme

Teori Katastropisme beranggapan bahwa keanekaragaman makhluk hidup didapatkan dari nenek moyang yang umum. Bertahan atau punahnya makhluk hidup lebih disebabkan oleh peristiwa bencana alam. Teori ini dikenalkan oleh George Cuvier (1796-1832), seorang ahli Paleontologi. Teori ini dalam ilmu Geologi dikenal sebagai *Catastrophisme*, yaitu revolusi besar di permukaan bumi.

Melalui penelitiannya Cuvier berhasil menemukan beberapa jenis hewan dan tumbuhan yang berbeda pada setiap lapisan se dimen batuan kuno. Cuvier mengemukakan bahwa tiap sedimen mewakili tiap masa atau waktu evolusi dan tiap sedimen mengandung jenis-jenis organisme hidup dan mati karena bencana.

Akibat peristiwa revolusi yang dahsyat dan spontan di permukaan bumi mengakibatkan seluruh makhluk hidup mengalami kepunahan. Pasca masa kepunahan, Tuhan menciptakan organisme baru yang lebih baik dan sempurna. Cuiver mengingkari hubungan kekerabatan antara makhluk hidup masa sekarang dengan masa lalu.

4. Teori Kreasionisme

Teori Kreasionisme menguraikan tentang penciptaan makhluk hidup sekaligus pada sekali waktu tertentu dan hasilnya sempurna, sehingga tidak terjadi lagi peristiwa evolusi atau perubahan. Teori ini mengemuka didasarkan atas keyakinan agama dan dipengaruhi pemikiran Aristoteles (hidup pada 300

SM). Pada perjalanan waktu teori Kreasionisme dianggap tidak valid karena faktanya banyak spesies yang hidupnya tidak bersamaan pada satu masa. Misalnya masa hidup binatang dinosaurus tidak bersamaan dengan masa hidup manusia. Keberadaan dinosaurus di permukaan bumi lebih dulu dibandingkan keberadaan manusia.

5. Teori Gradualisme

Teori Gradualisme diperkenalkan oleh ahli Geologi Swedia bernama James Hutton (1795). Teori Gradualisme memiliki pemahaman bahwa perubahan secara geologis berlangsung lambat dan pasti. Akan tetapi, teori gradualisme tidak mampu menguraikan dan menjelaskan mekanisme perubahan geologis secara meyakinkan.

6. Teori Uniformitarianisme (1797-1875)

Teori Uniformitarianisme dikemukakan oleh Sir Charles Lyell seorang ahli geologi Skotlandia yang menyatakan bahwa permukaan bumi terbentuk secara bertahap dan dalam jangka waktu yang lama. Pendapatnya ini bertentangan dengan pendapat sebagian besar masyarakat pada waktu itu yang menganggap bumi masih berusia muda. Lyell mencetuskan teorinya dalam buku yang berjudul *Principles of Geology*, yang nantinya sangat memengaruhi pemikiran Charles Darwin dan Lyell menjadi salah satu pendukung Darwin.

Paham ini juga menyatakan bahwa proses-proses geologis terbentuk berdasarkan pola yang seragam, sehingga kecepatan dan pengaruh perubahan selalu seimbang pada kurun waktu tertentu. Misalnya, terbentuknya gunung selalu diimbangi dengan erosi gunung. Teori Uniformitarianisme menekankan kejadian evolusi geologis, tetapi tidak dapat menjelaskan kejadian terbentuknya spesies.

7. Teori Lamarck

Teori Lamarck disebut dengan teori perolehan yang terwariskan secara genetik. Pada awal abad ke-19 (1809), Lamarck mengemukakan bahwa sifat fenotip dapat diwariskan secara genetik (*acquired inheritance*). Alat tubuh yang tidak difungsikan mengalami kemunduran (retardasi). Sebaliknya organ tubuh yang difungsikan secara terus menerus berkembang lebih secara optimal.

Lamarck mencontohkan bahwa nenek moyang Jerapah berleher pendek, namun karena leher Jerapah terus menerus dijulurkan untuk mendapatkan makanan, lambat laun leher Jerapah mengalami perkembangan menjadi lebih

panjang. Karena itu, evolusi terjadi disebabkan oleh pewarisan sifat genetik yang diperoleh dari lingkungannya. Teori Lamarck menyisakan kesalahan yang dapat dibuktikan Weissman dengan percobaannya menggunakan tikus yang ekornya dipotong ternyata tidak mewariskan pengalaman ekornya itu pada generasinya.

8. Teori Charles Darwin (1809-1882)

Charles Darwin, menyatakan bahwa evolusi disebabkan proses seleksi alam. Karena itu teori evolusi Darwin dikenal sebagai teori seleksi alam. Charles Darwin menyusun teorinya didasarkan pada fakta-fakta yang diamati ketika sedang melakukan perjalanan pengembaraannya berkeliling dunia dengan menggunakan kapal *HMS Beagle* di Kepulauan Galapagos (kepulauan lepas pantai yang secara *de jure dan de facto* masuk wilayah teritorial negara Chili), termasuk di beberapa lokasi lain di sekitar wilayah Amerika Selatan. Disamping itu juga pemikiran Darwin dipengaruhi oleh dua buku, yaitu:

- a. Buku *Principles of Geology*, karangan Charles Lyell, yang menjelaskan tentang perubahan geologis bersifat gradual (perlahan-lahan tapi pasti), konsisten dan terus-menerus.
- b. Buku *Population*, karangan Malthus, menjelaskan tentang populasi penduduk dunia yang bertambah berdasarkan deret ukur, dan jumlah makanan bertambah menurut deret hitung. Oleh karena itu, ada kecenderungan terjadi kompetisi terhadap sumber daya melalui perjuangan untuk hidup (*struggle for existence*).

Teori Evolusi Darwin pertama kali dikemukakan pada forum ilmiah *Linnean Society* (1958). Dalam forum ilmiah tersebut Charles Darwin menawarkan lima teori yang berkaitan dengan peristiwa evolusi, yakni:

- a. Masa kehidupan mengalami perubahan dari awal keberadaannya.
- b. Kesamaan leluhur terhadap seluruh makhluk hidup.
- c. Evolusi bersifat gradual (bertahap namun pasti).
- d. Jumlah spesies bertambah termasuk percabangan garis keturunan.
- e. Peristiwa seleksi alam perwujudan dari mekanisme evolusi.

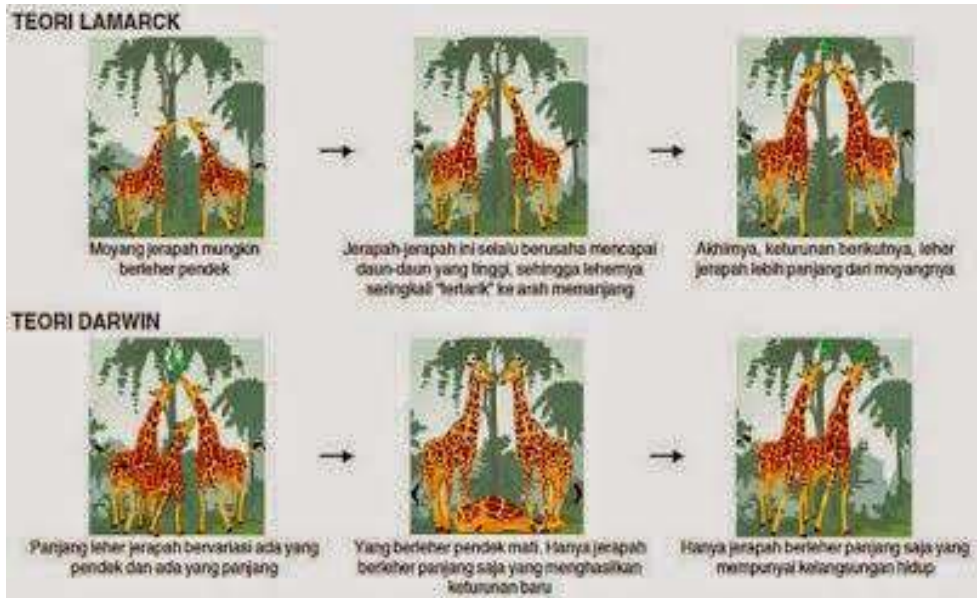
D. Perbandingan antara Teori Evolusi Lamarck dengan Teori Evolusi Darwin

1. Teori Lamarck tentang Evolusi
 - a. Organ tubuh yang sering dipergunakan menjadi tumbuh sempurna, sedangkan organ tubuh yang jarang bahkan tidak pernah dipergunakan menjadi menyusut (*rudimenter*).
 - b. Perubahan-perubahan yang terjadi pada makhluk hidup diakibatkan perubahan lingkungan fisik.
 - c. Setiap perubahan yang terjadi pada makhluk hidup diwariskan kepada keturunannya.
2. Teori Darwin tentang Evolusi
 - a. Makhluk hidup yang ada sekarang berasal dari makhluk hidup dimasa lampau yang mengalami perubahan secara gradual.
 - b. Proses perubahan dari makhluk hidup dimasa lampau yang masih sederhana menjadi makhluk hidup seperti sekarang ini yang lebih sempurna berlangsung secara bertahap dan memerlukan waktu yang sangat lama.
 - c. Setiap makhluk hidup membutuhkan perjuangan untuk melangsungkan kehidupannya (Teori Seleksi Alam).

Darwin berpendapat bahwa panjang leher Jerapah merupakan salah satu contoh seleksi alam. Pada mulanya, Jerapah mempunyai panjang leher yang bervariasi. Jerapah yang termasuk berleher panjang memungkinkan dapat menjangkau daun-daun yang ada dipucuk pohon sebagai makanannya. Akibatnya, Jerapah berleher panjang dapat bertahan hidup dan melakukan perkawinan. Perkawinan antara Jerapah berleher panjang dengan sesama Jerapah berleher panjang mewariskan sifat dan ciri kepada keturunannya.

Jerapah berleher pendek kekurangan makanan karena tidak mampu mencapai daun-daun yang tinggi. Akibatnya, mereka mati atau terseleksi oleh alam sebelum melakukan perkawinan. Hal itu menyebabkan jumlah jerapah berleher pendek terus berkurang dan pada akhirnya hanya jerapah berleher panjang yang tersisa. Mereka itulah yang lolos seleksi alam karena cocok dengan keadaan lingkungannya. Sementara itu, Lamarck menduga bahwa leher jerapah yang panjang merupakan akibat penarikan atau peregangan selama bertahun-tahun. Jerapah tertarik lehernya untuk mencapai daun-daun pada pucuk pohon sehingga leher itu tumbuh memanjang. Perubahan bentuk tubuh itu selanjutnya diwariskan kepada keturunannya. Seperti halnya Darwin, Lamarck juga percaya bahwa makhluk yang paling sesuai yang akan

bertahan hidup. Perhaikan perbandingan teori Lamarck dan teori Darwin berikut :



Gambar 9.1. Perbandingan Teori Evolusi Lamarck dan Darwin

E. Bantahan atau Sanggahan para Ahli Terhadap Teori Evolusi

Charles Darwin sudah banyak menulis buku, di antaranya yang penting adalah *The Origin of Species* dan *The Descend of Man*. Kedua buku tersebut ditulis selama mengikuti kapal Angkatan Laut Inggris mengadakan ekspedisi ke negara Amerika Selatan sekitar abad ke-19. Charles Darwin mengumpulkan data dan fakta yang menunjukkan teorinya, dan mengajukan hipotesis sebagai berikut:

1. Munculnya variasi (perbedaan kecil) dalam suatu spesies disebabkan oleh faktor genetik dan lingkungan.
2. Peristiwa seleksi alam diimbangi dengan pergolakan hidup, variasi yang menguntungkan bertahan dan berkembang, sedangkan variasi yang merugikan susut dan punah.
3. Terdapat hubungan kekerabatan antara berbagai spesies baru yang berasal dari spesies sebelumnya.
4. Manusia juga mengalami peristiwa evolusi seperti makhluk hidup lainnya. Berarti manusia berada dalam satu mata rantai evolusi dengan makhluk hidup lainnya (hewan).

Proses evolusi memerlukan waktu yang sangat lama, karena itu waktu merupakan salah satu faktor yang sangat menentukan perjalanan evolusi. Menurut Darwin, terdapat dua mekanisme yang mendasari peristiwa evolusi, sebagai berikut:

Mekanisme pertama adalah proses evolusi menyebabkan spesies melakukan interaksi dengan keadaan ekologi. Contohnya: proses evolusi pada jenis burung, beberapa burung memiliki bentuk paruh yang khusus digunakan untuk menghisap madu bunga. Selama bunga itu tersedia di alam, jenis burung itu bertahan hidup. Tetapi, jika bunga tersebut punah, kemungkinan besar jenis burung itu punah juga.

Mekanisme kedua adalah kelahiran spesies baru dari hasil variasi pada spesies yang ada. Peristiwa ini terjadi apabila suatu kelompok makhluk hidup terpisah dan akhirnya mempunyai gaya hidup yang berbeda di tempat yang baru. Contohnya pada burung *finch* di atas. Asal mula burung dari berbagai kepulauan di Galapagos berasal dari daratan Amerika Selatan. Karena hidup di berbagai pulau, burung *finch* ini akhirnya mengembangkan adaptasi yang berbeda-beda. Waktu dan perjuangan bertahan hidup (*survival*) adalah faktor penting untuk melahirkan generasi baru burung *finch*.

F. Macam-macam Evolusi

1. Evolusi Berdasarkan Arahnya

a. Evolusi Progresif

Evolusi progresif peristiwa evolusi yang mengarah pada kemungkinan untuk dapat bertahan hidup (*survival*). Proses ini dapat dijumpai pada rangkaian evolusi pada burung *finch*.

b. Evolusi Regresif

Evolusi regresif suatu peristiwa evolusi yang cenderung mengarah kepada kemungkinan kepunahan (*extinction*). Proses ini dapat dijumpai melalui peristiwa evolusi yang terjadi pada binatang langka dinosaurus.

2. Evolusi Berdasarkan Skala Perubahannya

a. Makroevolusi

Makroevolusi merupakan jenis evolusi yang terjadi manakala perubahan evolusi menyebabkan perubahan pada skala yang lebih besar. Jenis evolusi ini ditandai dengan terbentuknya spesies-spesies baru.

b. Mikroevolusi

Mikroevolusi merupakan salah satu jenis evolusi yang terjadi sebagai akibat dari perubahan dalam skala yang lebih kecil. Peristiwa mikroevolusi ini mengarah pada terjadinya perubahan skala gen atau kromosom.

3. Evolusi Berdasarkan Hasil Akhir

a. Evolusi Divergen

Evolusi divergen terjadi akibat dari proses evolusi yang mengalami perubahan secara struktur yang berasal dari satu spesies menghasilkan banyak spesies baru.

b. Evolusi Konvergen

Evolusi konvergen menghasilkan perubahan yang didasarkan pada adanya kesamaan struktur antara dua organ atau organisme yang memiliki garis keturunan sama dari nenek moyang yang sama. Peristiwa ini dijumpai pada ikan hiu dan lumba-lumba. Secara morfologi hiu dan lumba-lumba terlihat sama seperti organisme yang berkerabat dekat. Ternyata hiu termasuk dalam golongan pisces, dan ikan lumba-lumba termasuk golongan mamalia.

G. Bukti-bukti Evolusi

1. Anatomi Perbandingan

a. Homologi

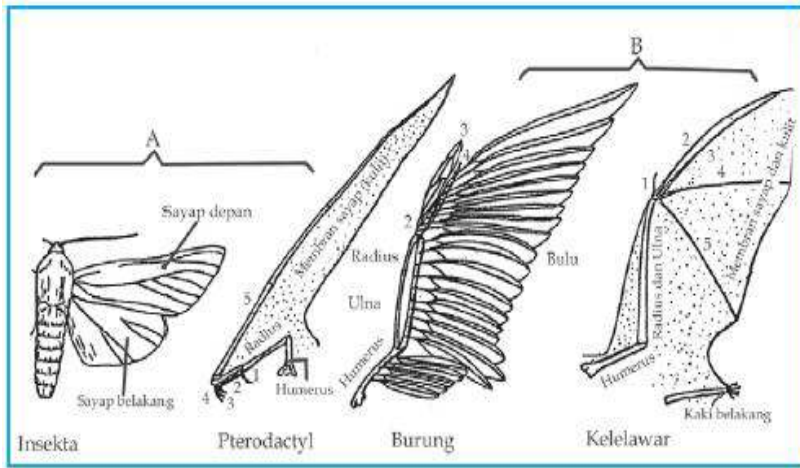
Homologi menunjukkan adanya perbedaan 2 (dua) organ ditinjau dari bentuk dan fungsinya, tetapi kedua organ tersebut mempunyai bentuk dasar yang sama. Perbandingan organ-organ secara homologi dapat dilihat pada gambar di bawah ini:



Gambar 9.2. Perbandingan Organ Tubuh secara Homologi

b. Analogi

Analogi menunjukkan 2 (dua) organ yang memiliki bentuk dasar yang berbeda, namun akibat peristiwa evolusi konvergen menyebabkan organ mempunyai fungsi yang sama.



Gambar 9.3. Perbandingan Organ Tubuh secara Analogi

2. Embrio Perbandingan

Bentuk embrio pada manusia dan hewan memiliki kecenderungan yang hampir sama. Perhatikan gambar di bawah ini yang menunjukkan perbandingan beberapa embrio pada makhluk hidup.



Gambar 9.4. Perbandingan Embrio pada Makhluk Hidup

Keterangan: 1. embrio ikan; 2. embrio salamander; 3. embrio kura-kura daratan; 4. embrio ayam; 5. embrio kelinci; 6. embrio manusia

Adapun beberapa ciri-ciri umum perkembangan embrio pada beberapa makhluk hidup termasuk manusia menurut Wildan Yatim adalah:

- a. Sifat-sifat umum muncul sebelum sifat-sifat yang khusus.
- b. Perkembangan dimulai dari yang umum, menuju perkembangan yang khusus.
- c. Bentuk embrio dari berbagai makhluk hidup hampir serupa, tetapi pada tahap dewasa menunjukkan perbedaan yang nyata.⁵⁹

3. Fisiologi Perbandingan

Dari berbagai hasil penelitian terdapat bukti bahwa proses fisiologi pada berbagai makhluk hidup memiliki mekanisme yang sama ditinjau dari proses sintesis protein, proses metabolisme, sistem respirasi, sistem ekskresi, dan lain-lain.

4. Petunjuk dari Alat Tubuh Tersisa (Vestigial)

Pada beberapa hewan vertebrata dan manusia secara morfologi dijumpai struktur yang masih tersisa yang disebut vestigial. Vestigial, merupakan struktur anatomi yang berkembang dan berfungsi namun mengalami reduksi. Beberapa organ yang tersisa dianggap sebagai suatu rangkaian proses evolusi. Berikut contoh struktur vestigial antara lain pada makhluk hidup, antara lain:

- a. Pada mamalia khususnya manusia terdapat tulang ekor, umbi cacing dan buah dada pada laki-laki.
- b. Pada reptilia, yakni sisa-sisa kaki pada jenis ular.
- c. Pada aves, yakni sisa-sisa sayap pada burung onta, penguin dan kasuari yang tidak dapat berfungsi untuk terbang.

5. Petunjuk Palaentologi

Palaentologi merupakan salah satu cabang ilmu pengetahuan yang mempelajari dan menelaah mengenai berbagai jenis fosil. Fosil adalah sisa-sisa organisme yang terkubur dalam kurun waktu yang sangat lama sehingga menjadi keras dan membatu.

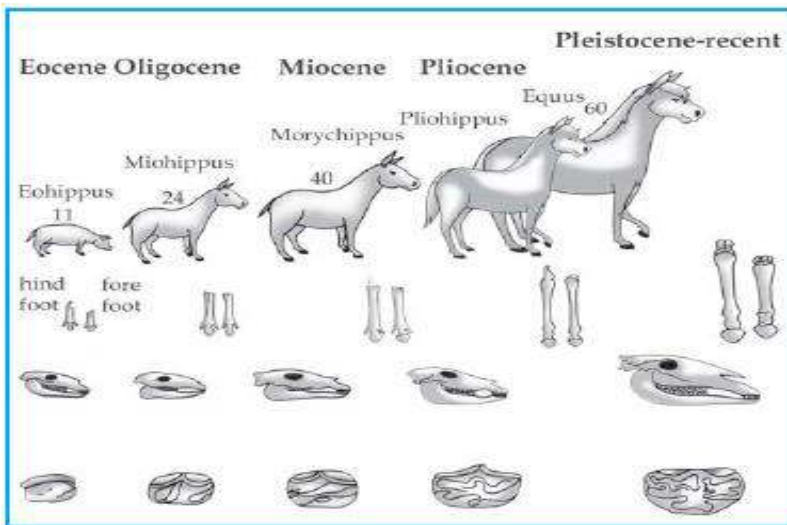
⁵⁹ Wildan Yatim, *Biologi Modern: Pengantar Biologi..* (Bandung: Penerbit Tarsito, 2010). 91

Fosil-fosil yang telah membantu menjadi obyek penelitian yang sangat penting untuk dipelajari oleh para ilmuwan, yang dihubungkan dengan proses evolusi makhluk hidup. Jadi, fosil pada dasarnya merupakan petunjuk dan bukti terjadinya evolusi makhluk hidup.⁶⁰

Penemuan berbagai macam fosil makhluk hidup umumnya berupa potongan-potongan tubuh tertentu saja dan sangat jarang dijumpai dalam keadaan utuh. Hal itu disebabkan oleh faktor-faktor sebagai berikut:

- a. Penyusun organ tubuh makhluk hidup mudah hancur, sehingga tidak mengalami perubahan menjadi fosil.
- b. Terbentuknya patahan bumi atau terjadinya lipatan pada batuan bumi.
- c. Proses menjadi fosil terhambat karena pengaruh air, angin, dan bakteri.

Dari berbagai fosil yang ditemukan oleh para ilmuwan, fosil yang lebih lengkap dari fosil yang lain dijumpai pada fosil kuda. Fosil kuda ditemukan oleh Marsh dan Osborn.⁶¹ Uraian penemuan tersebut digambarkan berdasarkan urutan evolusi berikut ini:



Gambar 9.5. Petunjuk Palaentologi Fosil Kuda

⁶⁰ *Ibid.* Wildan Yatim. *Biologi Modern*, 101

⁶¹ Neil A. Campbell dan Jane B. Reece. *Biologi*. Jilid 1 Edisi Kedelapan (Jakarta: Penerbit Erlangga, 2008). 47

Berdasarkan urutan evolusi yang disusun oleh Marsh dan Osborn dapat dijelaskan bahwa terdapat perubahan dan perkembangan yang mengarah pada evolusi bentuk dan fungsi antara lain:

- a. Ukuran tubuh semakin lama semakin bertambah besar.
- b. Ukuran kepala terutama bagian depan semakin panjang.
- c. Ukuran lehernya semakin panjang memungkinkan gerakannya semakin dinamis.
- d. Terjadi perubahan pada geraham depan dan geraham besar untuk menyesuaikan dengan jenis makanan berupa rumput dan dedaunan.
- e. Organ tubuh yang lainnya bertambah panjang, menyesuaikan dengan gerakan untuk berlari lebih cepat.
- f. Jari kaki mereduksi dari lima menjadi satu, yang mendukung gerakan ketika berlari.

Disamping melakukan identifikasi pada penemuan fosil berdasarkan bentuk dan strukturnya, dapat pula dilakukan penghitungan umur fosil. Penetapan umur fosil dapat dilakukan secara langsung dan tidak langsung.

- a. Secara langsung, yaitu langsung mengukur umur fosil.
- b. Secara tidak langsung, yaitu dengan cara mengukur umur lapisan bumi lokasi fosil ditemukan.

Perhitungan dan penetapan umur fosil dapat dilakukan dengan 2 (dua) pendekatan, yakni peristiwa laju sedimentasi dan penentuan umur dengan zat raddioaktif.

- a. Peristiwa Laju Sedimentasi

Hasil sedimentasi ini umumnya berbentuk delta. Cara penghitungannya menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{Umur delta} = \frac{\text{Tebal delta}}{\text{Laju deposisi}}$$

- b. Penentuan Umur dengan Zat Radioaktif

Metode ini dapat dicontohkan pada peristiwa transformasi uranium (U) ke plumbum/timbal (Pb) mempunyai lama 7.600.000.000 tahun, maka dapat dirumuskan:

$$\text{Umur lapisan} = \frac{\text{banyak Pb}}{\text{Banyak U}} \times 7.600.000.000 \text{ tahun}$$

H. Mekanisme Evolusi

Evolusi menunjukkan perubahan makhluk hidup yang terjadi secara berangsur-angsur dalam kurun waktu yang lama dan berlangsung dari generasi ke generasi.

Mekanisme evolusi berdasarkan tempat terjadinya evolusi dibagi menjadi 2 (dua), yakni:

1. Evolusi tidak terjadi di dalam individu. Misalnya, walaupun manusia berasal dari makhluk sebelum manusia (umpamanya sejenis kera), hendaknya jangan dipersepsikan bahwa individu kera perlahan-lahan berubah menjadi individu manusia.
2. Evolusi berlangsung di dalam populasi. Peristiwa evolusi umumnya terjadi secara bertahap melalui pewarisan sifat induk kepada keturunannya dalam kurun waktu ratusan bahkan ribuan generasi yang berbeda-beda. Populasi itulah yang merupakan tempat terjadinya perubahan evolusi.

Mekanisme evolusi berdasarkan variasi gen dibagi menjadi 2 (dua), yakni:

1. Mutasi Gen

Mutasi gen terjadi akibat perubahan struktur kimia gen (DNA), terutama pada basa nukleotidnya, yang menyebabkan perubahan sifat suatu organisme dan diwariskan pada generasinya. Penjelasan lebih lanjut tentang mutasi gen dengan mempelajari angka laju mutasi dan frekuensi gen dalam populasi.

Angka laju mutasi adalah angka yang menunjukkan banyaknya gen yang mengalami mutasi dari seluruh gamet yang dihasilkan oleh satu individu atau spesies. Angka laju mutasi suatu spesies umumnya sangat rendah, yaitu rata-rata 1 : 100.000. Setiap 100.000 gamet terdapat satu gen yang mengalami mutasi. Walaupun angka laju mutasi sangat rendah, namun tetap menjadi salah satu mekanisme evolusi yang penting. Dengan pertimbangan sebagai berikut: (1) setiap gamet memiliki beribu-ribu gen; (2) setiap individu menghasilkan ribuan bahkan jutaan gamet; (3) setiap populasi dapat menghasilkan generasi dengan jumlah yang sangat banyak.

Umumnya mutasi bersifat merugikan, namun peluang terjadinya mutasi yang menguntungkan hanya sekitar 1 : 1.000. Artinya bahwa dalam setiap 1.000 kali terjadi mutasi, nampak satu mutasi yang menguntungkan. Meskipun peluang mutasi yang menguntungkan kecil,

namun jumlah generasi yang hidup sangat banyak, sehingga kemunculan mutasi yang menguntungkan secara kuantitas juga dianggap tinggi.

Mutasi dalam proses evolusi dapat menguntungkan manakala peristiwa mutasi tersebut: 1) Spesies yang lahir mampu menyesuaikan diri dengan kondisi lingkungan fisik atau bersifat adaptif; 2) Spesies yang dilahirkan memiliki vitalitas (kekuatan hidup) dan viabilitas (kelangsungan hidup) yang kuat.

Sebaliknya, peristiwa mutasi berakibat merugikan manakala mutasi tersebut mengalami hal-hal sebagai berikut: 1) Melahirkan individu spesies yang tidak mampu beradaptasi dengan lingkungannya; 2) Melahirkan individu spesies yang memiliki vitalitas dan viabilitas lemah; dan 3) Pembentukan alel yang mengarah terjadinya mutasi letal (mematikan).

Penyebab mutasi yang mengakibatkan terbentuknya alel letal, adalah alel letal yang bersifat resesif. Pengaruh gen letal resesif ini muncul apabila dalam keadaan homozigot dan tidak muncul ketika dalam keadaan heterozigot. Sehingga, gen resesif ini hanya bekerja pada individu-individu dalam keadaan homozigot, namun tetap ada dalam populasi dan seleksi alam.

Perbandingan frekuensi (penyebaran) genotip homozigot terhadap genotip heterozigot yang terjadi pada gen letal (alel resesif yang letal) dan gen non letal dapat diketahui dengan menghitung frekuensi gen (genotip) populasinya.

2. Frekuensi Alel dan Gen Populasi

Frekuensi alel adalah perbandingan suatu karakter, sifat maupun ciri-ciri tertentu antara satu alel dengan alel lainnya yang terjadi dalam suatu populasi dan umumnya diberi simbol dengan menggunakan satu huruf, misalnya huruf X atau x.

Frekuensi gen merupakan perbandingan berdasarkan karakter, sifat maupun ciri-ciri tertentu antara gen satu dengan gen lainnya yang terjadi dalam suatu populasi dan umumnya diberi simbol dengan menggunakan dua huruf, misalnya huruf XX, Xx atau xx).

Dalam setiap populasi masing-masing mengandung gene pool. Gene pool populasi merupakan akumulasi gen secara totalitas yang terdapat dalam suatu populasi pada waktu tertentu.

Berikut beberapa kesalahpahaman yang berkaitan dengan teori evolusi yang dikutip dari buku Miskonsepsi dan Kontroversi Evolusi serta

Implikasinya pada Pelajaran, yang disusun oleh Lud Waluyo, sebagai berikut:

- a. Sampai sekarang ini sebagian masyarakat masih beranggapan bahwa manusia berevolusi dengan “kera”. Tetapi, manusia dan kera yang ada sekarang mempunyai nenek moyang yang sama. Penekanan arti dan makna moyang harus dipahami sebagai moyang secara fisik, bukan spiritual.
- b. Peristiwa evolusi tidak menyebabkan makhluk hidup tambah bagus atau tambah cerdas. Contohnya, ular merupakan hasil evolusi proses dari sejenis kadal yang tidak lagi memerlukan tangan dan kaki.
- c. Keberhasilan dan kegagalan suatu organisme bermutasi sangat dipengaruhi oleh keadaan lingkungan saat itu. Sehingga, proses evolusi tidak memiliki tujuan tertentu.
- d. Posisi manusia di dalam pohon evolusi tidak memiliki tempat yang spesial. Hal ini disebabkan manusia termasuk salah satu cabang dari pohon evolusi tersebut.
- e. Evolusi membutuhkan waktu yang sangat lama dan berlangsung secara kontinyu.
- f. Bukti-bukti evolusi sudah banyak ditemukan berupa fosil binatang maupun tumbuhan.⁶²

I. Pandangan Baru Evolusi

Sejak pertama kali dikemukakan, teori evolusi Darwin mengalami banyak kritikan dan tentangan dari berbagai kalangan masyarakat maupun ilmuwan. Kalangan masyarakat yang menolak pendapat Darwin menyampaikan pandangannya bahwa makhluk hidup diciptakan seperti rupa dan bentuk sekarang ini. Pernyataan ini dikenal sebagai teori penciptaan (*Creationism Theory*), dalam perkembangannya teori penciptaan berkembang menjadi teori-teori baru yang dasarnya mendukung teori penciptaan.

Salah satu yang mendukung teori penciptaan adalah *Intelligent Design Theory* (teori rancangan kecerdasan). Menurut teori tersebut, semua makhluk hidup dan alam semesta diciptakan oleh Tuhan secara sistematis dan terencana.

⁶² Lud Waluyo, *Miskonsepsi dan Kontroversi Evolusi serta Implikasinya pada Pembelajaran*. (Malang: Universitas Muhammadiyah Malang Press, 2010). 158

Akhir-akhir ini, terungkap kecenderungan bahwa teori penciptaan mengalami perkembangan cukup signifikan dengan adanya fakta-fakta sebagai berikut:

1. Penemuan model DNA oleh *Double Helix* karya Watson dan Crick. Berdasarkan pengamatan molekul DNA yang terdapat di dalam sel hidup, memiliki bentuk yang sangat kompleks sekaligus sangat teratur. Melalui pengamatan akurat dan teliti diperoleh bahwa DNA mengandung urutan basa-basa nukleotida yang terdiri atas: adenine, timin, guanine, dan sitosin. Keteraturan dan kerumitan molekul DNA dalam rangkaian dan tatanan urutan basa tidak muncul secara spontan. Meskipun terjadi perubahan atau mengalami kerusakan akibat peristiwa mutasi, umumnya individu spesies yang mengalami mutasi menghasilkan individu yang cacat ataupun steril, yang tidak memungkinkan membuahkan keturunan. Jadi, berdasarkan uraian tersebut suatu sel tidak mungkin mengalami perubahan menjadi makhluk hidup yang lebih kompleks dan sempurna.
2. Hukum penurunan sifat menurut Mendel. Gregor Johann Mendel (1822-1884) menyatakan bahwa pewarisan sifat induk kepada generasinya disebabkan oleh faktor penentu, yakni gen. komposisi dan susunan gen ditentukan oleh kontribusi dari sebagian induk jantan berupa spermatozoa (sel sperma) dan sebagian induk betina berupa ovum (sel telur). Pewarisan sifat dari induk kepada generasinya berlangsung secara kontinyu dan teratur. Pembentukan sel kelamin jantan dan betina terjadi melalui peristiwa meiosis yang didahului terjadinya replikasi DNA pada fase interfase, dan dilanjutkan dengan peristiwa duplikasi kromosom pada profase 1. Dengan demikian materi genetik dari induk yang diwariskan kepada keturunannya sama.

J. Teori Asal Usul Kehidupan

Pandangan kaum sains tentang asal usul kehidupan ternyata sampai saat ini belum seluruhnya terungkap, masih banyak persoalan dan fakta tersembunyi yang terus menjadi misteri. Demikian pula, pandangan mengenai asal usul penciptaan alam semesta masih banyak fakta-fakta dan fenomena yang belum mampu dijelaskan secara ilmu pengetahuan dan sains. Sehingga sampai sekarang, asumsi dan pandangan tentang asal usul kehidupan dan penciptaan alam semesta masih berupa hipotesis.

Mengenai pembentukan bumi dan planet-planet di alam semesta dapat dijelaskan melalui dua teori klasik, yaitu teori kabut asal (*nebula*) dan teori ledakan besar (*big-bang*).

1. Teori kabut asal atau *Nebula*. Pandangan teori kabut asal menyatakan bermula dari adanya ledakan yang dahsyat dari bintang-bintang di angkasa yang tidak stabil pada dekade miliar tahun lalu. Hasil ledakan berupa debu dan gas membentuk kabut yang selanjutnya disebut kabut asal (*nebula*). Lalu dalam prosesnya kabut asal mengalami pemadatan dan akhirnya meledak. Hasil ledakan nebula berupa bintang baru, planet-planet juga termasuk bumi. Apabila bintang baru yang terbentuk keadaannya tidak stabil, maka terjadi ledakan dan membentuk nebula lagi.
2. Teori ledakan besar atau *Big-Bang*. Teori ini mengemukakan bahwa terdapat materi di angkasa menyatu dan memadat membentuk benda kecil yang kemudian meledak. Hasil ledakannya berupa bintang-bintang dan planet-planet termasuk bumi.

Dalam biologi, dikenal tiga teori asal-usul kehidupan yaitu teori abiogenesis, biogenesis, dan evolusi kimia.

1. Teori Abiogenesis (*Generatio Spontanea*). Aristoteles (384 – 322 SM) adalah ilmuan pertama kali mengemukakan konsep kehidupan berasal dari benda mati. Teori ini dikenal dengan teori *generatio spontanea* atau abiogenesis. Aristoteles mengemukakan bahwa makhluk hidup berasal dari lumpur.
Teori ini diinspirasi dan disusun melalui suatu pengamatan kondisi lingkungan disekitarnya. Berdasarkan pengamatan secara langsung bahwa cacing muncul dari dalam tanah, ulat berasal dari daging yang membusuk. Namun, seiring dengan waktu para ilmuan khususnya dan masyarakat umumnya mulai sanksi dengan kebenaran teori abiogenesis. Keraguan tersebut berhasil dibuktikan oleh Anthony Van Leeuwenhoek sekitar abad ke-17. Leeuwenhoek melalui mikroskop buatannya berhasil menemukan mikroorganisme, sperma, sel darah, dan mikroorganisme lainnya.

2. Teori Biogenesis merupakan teori yang menentang paham atau teori abiogenesis. Teori biogenesis ini didukung oleh beberapa ilmuwan biologi, seperti: Francesco Redi (Italia), Lazzaro Spallanzani (Italia), dan Louis Pasteur (Prancis). Teori biogenesis mengatakan bahwa makhluk hidup berasal dari makhluk hidup yang ada sebelumnya.

a. Francesco Redi merupakan orang pertama yang melakukan eksperimen yang menyangkal dan menolak teori abiogenesis. Redi melakukan percobaan dengan menggunakan daging segar yang ditempatkan dalam labu dan diberi perlakuan tertentu.

Labu I : ditempati daging segar → dibiarkan terbuka

Labu II : ditempati daging segar → ditutup memakai kain kasa

Labu III : ditempati daging segar → ditutup rapat

Ketiga labu tersebut diletakkan di tempat tertentu selama beberapa hari dan hasil percobaannya sebagai berikut:

Labu I : dagingnya membusuk dan banyak muncul belatung

Labu II : dagingnya membusuk dan terdapat sedikit belatung

Labu III : dagingnya tidak membusuk dan tidak ada belatung



Gambar 9.6. Rancangan Percobaan Francesco Redi

Menurut Francesco Redi munculnya belatung pada labu I dan II berasal dari telur lalat. Labu ke III tidak terdapat belatung karena tertutup rapat sehingga lalat tidak bisa masuk. Namun, meskipun labu III tertutup rapat ternyata masih memungkinkan muncul belatung. Hal ini disebabkan karena Redi tidak melakukan sterilisasi daging pada desain percobaannya.

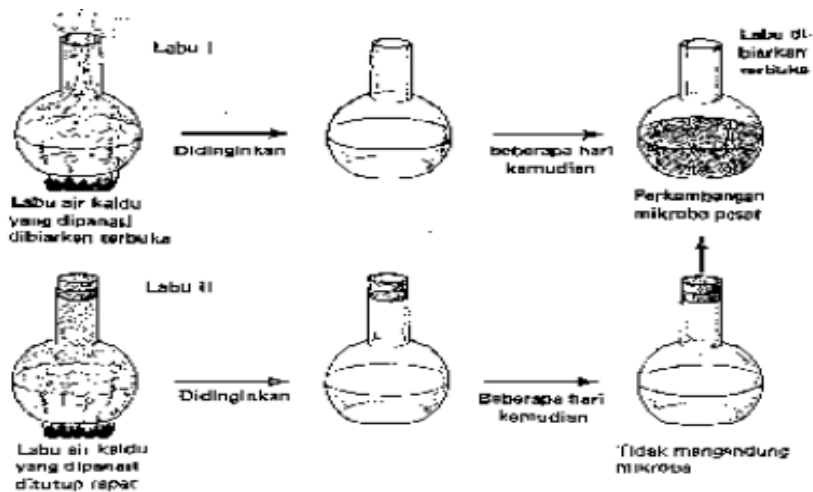
b. Lazzaro Spallanzani juga melakukan eksperimen untuk menolak teori abiogenesis. Eksperimen yang dilakukan dengan menggunakan bahan kaldu. Dalam percobaannya Lazzaro Spallanzani merancang perlakuan sebagai berikut:

- Labu I : berisi air kaldu → dipanaskan → dibiarkan terbuka
 Labu II : berisi air kaldu → ditutup (gabus) yang disegel dengan lilin → dipanaskan

Setelah keadaan dingin kedua labu tersebut dipindahkan di tempat tertentu. Beberapa hari kemudian hasil percobaannya diamati dan menemukan fakta sebagai berikut:

Labu I : keadaannya busuk, keruh dan mengandung mikroba

Labu II : keadaannya tetap jernih dan tidak mengandung mikroba



Gambar 9.7. Rancangan Percobaan Lazzaro Spallanzani

Menurut Spallanzani keberadaan mikroba mengakibatkan air kaldu membusuk dan mikroba berasal dari udara bebas. Pendukung teori abiogenesis menolak rancangan eksperimen Spallanzani yang menganggap bahwa labu yang tertutup rapat menyebabkan gaya hidup (*elan vital*) dari udara terhalang masuk, sehingga tidak memungkinkan timbulnya mikroba di dalam labu.

- c. Kelemahan penelitian Lazzaro Spallanzani diperbaiki dan disempurnakan oleh Louis Pasteur, ahli biokimia dan mikrobiologi. Pasteur memanasi gelas labu yang berisi kaldu sampai mendidih, namun leher labu tidak ditutup rapat melainkan dibentuk berupa leher angsa atau bentuk huruf S, sehingga bagian ujungnya tetap terbuka (udara dapat masuk).

Labu yang berbentuk leher angsa diisi dengan air kaldu nutrisi → dipanasi hingga mendidih (steril) → labu didinginkan dan didiamkan → beberapa hari kemudian dilakukan pengamatan ditemukan air kaldu dalam labu leher angsa tetap jernih, meskipun udara memungkinkan masuk ke dalam tabung. Ternyata mikroorganisme yang ada di udara tidak mampu mencapai air kaldu karena terjebak dalam leher labu yang panjang.

Apabila labu berleher angsa dimiringkan hingga bersentuhan dengan udara yang terperangkap di leher labu, maka beberapa hari kemudian air kaldu menjadi keruh. Percobaan ini membuktikan bahwa mikroorganisme pada air kaldu berasal dari mikroorganisme yang ada di udara, bukan berasal dari air kaldu.

3. Teori evolusi kimia (biologi modern) menyatakan bahwa pada mulanya keadaan temperatur bumi sangat tinggi. Pada suatu masa akhirnya suhu bumi menurun dan terjadi proses pendinginan. Melalui proses pemanasan dan pendinginan, terbentuklah berbagai macam bahan-bahan kimia. Bahan-bahan yang berat mengarah ke permukaan bumi akibat gaya gravitasi. Bahan-bahan yang ringan bergeser ke bagian luar bumi yang disebut atmosfer. Susunan atmosfer pada masa itu sangat berbeda dengan susunan atmosfer sekarang ini. Pada atmosfer purba tidak terdapat unsur oksigen, karena suhu yang sangat tinggi, sehingga oksigen mudah bersenyawa dengan unsur-unsur lain. Beberapa ilmuwan yang mendukung teori evolusi kimia (biologi modern) adalah sebagai berikut:
 - a) A.I. Oparin mengemukakan bahwa evolusi zat-zat kimia telah terjadi sebelum kehidupan ini terbentuk. Atmosfer bumi mula-mula mengandung air, CO₂, metana, ammonia, namun tanpa kehadiran oksigen bebas. Dengan adanya panas dari berbagai sumber energi, zat-zat tersebut mengalami serangkaian perubahan menjadi molekul organik sederhana.
 - b) Pada tahun 1893, Harold Urey mengemukakan teori yang didasarkan atas pemikiran bahwa bahan organik sebagai bahan dasar makhluk hidup, yang dibentuk sebagai reaksi gas yang ada di alam melalui bantuan energi.
 - c) Pada tahun 1953, Stanley Miller berhasil membuktikan teori gurunya, (Harold Urey). Miller membuat alat untuk memasukkan bermacam-macam gas, hidrogen, metana, dan ammonia. Alat

tersebut distimulasi dengan aliran listrik sebesar 75.000 volt, beberapa hari kemudian Miller menemukan zat organik berupa asam amino, asam hidroksi, HCN, dan Urea. Terbentuknya asam amino merupakan lompatan besar dalam membuktikan asal usul kehidupan, karena asam amino diyakini sebagai komponen kehidupan.

- d) Percobaan Melvin Calvin akhirnya dapat membuktikan bahwa radiasi sinar dapat mengubah metana, ammonia, hidrogen dan air menjadi molekul-molekul gula dan asam amino. Asam amino dipercaya sebagai substansi dasar pembentukan DNA, RNA, ATP, dan ADP.

DAFTAR PUSTAKA

Albert, B., D. Bray, A. Johnson, J. Lewis, M. Raff, K. Ros and P. Walters. 1998. *Essential Cell Biology*. New York: Garland Publishing, Inc.

Albert, B., D. Bray, A. Johnson, J. Lewis, M. Raff, K. Roberts, J.D. Watson. 1999. *Molecular Biology of The Cell*. New York: Garland Publishing, Inc.

Baker, J.B.W and Garlan. 1982. *The Study of Biology*. Canada: Addison Wesley Publishing Company

Brooks, G.A. T.DD. Ffahey, T.P. White. 1996. *Exercise Physiology: Human Bioenergetics and Its Applications*. 2nd Edition. Mayfield Publishing Co

Campbell, Neil A. dan Jane B. Reece. 2008. *Biologi*. Edisi Kelima Jilid 1. Jakarta: Penerbit Erlangga

Campbell, Neil A., Mitchell Lawrence G., and Jane B. Reece. 1994, *Biology: Concepts & Connection*, New York: The Bejamin/Cummings Publishing Company, Inc

Campbell N.A. et al. 1999. *Biology, Concept and Connections*. Canada: Cummings Publishing Company, Inc

Campbell, Neil A. Jane B. Reece, and Lisa A. Urry. 2008. *Biologi*. Edisi Kedelapan Jilid 2. Jakarta: Penerbit Erlangga

Chiras, Daniel D. 1991. *Environmental Science: Action for a Suitainable Future*. New York: The Benyamin Cummings Publishing Company, Inc.

Corebima, AD. 2013. *Genetika Mendel*. Surabaya: Penerbit Airlangga University Press

Delima, Eva. 1996. *Kehidupan Sel*. Jakarta: Penerbit PT. Gramedia Anggota IKAPI

Fried , George H. dan George J. Hademenos. 2002. *Biologi*. Edisi Kedua, Jakarta: Penerbit Erlangga

Hanum, Eva Latifah. 2009. *Biologi 2*. Jakarta: Penerbit PT. Remaja Rosdakarya

Hopson, J. and Norman K.W. 1990. *Essential of Biology*. New York: McGraw-Hill Publishing Company.

- Indun, Kistinnah. 2007. *Biologi Makhluk Hidup dan Lingkungan*. Surakarta: Penerbit CV. Putra Nugraha
- Jeffrey, C. 1982. *An Introduction to Plant Taxonomy*, 2nd ed. Cambridge: Cambridge University Press.
- Karim, Saeful, dkk, 2006. *Belajar IPA*. Jakarta Pusat: CV. Karya Mandiri Pratama
- Karmondy, Edward J., and Essensfeld, Bernice E., 1988, *Biology: A Systems Approach*, California, Massachusetts, Tokyo, Singapore: The Addison-Wesley Publishing Company, Inc
- Kimball, John W. 1989. *Biologi*. Jilid 1. Terjemahan. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Kimball, John W. 1998. *Biologi*. Jilid 2. Terjemahan. Jakarta: Penerbit Erlangga
- Kimball, John W. 1998. *Biologi*. Jilid 3. Terjemahan. Jakarta: Penerbit Erlangga
- Kuchel, Philip dan Gregory B. Ralston. 2006. *Biokimia*. Jakarta: Penerbit PT. Erlangga
- Kusumawati, Rohana. 2012. *Biologi*. Jakarta: Penerbit Intan Prawira.
- Ma'at, Suprpto. 2011. *Teknik Dasar Kultur Sel*. Surabaya: Airlangga University Press
- Morris, Winokur. 1962. *General Biology*. New Jersey: Littlefield Adams & Co
- Nelson, G.E and Gerald G.R. 1982. *Fundamentals Concept Biology*. New York: John Wiley & Sons.
- Ngili, Yohanis. 2009. *Biokimia*. Yogyakarta: Penerbit PT. Graha Ilmu
- Odum, Eugene P. (1979). *Fundamentals of Ecology*, third Edition. Georgia: Saunders College Publishing.
- Old, RW. dan S.B. Primorse. 2003. *Prinsip-prinsip Manipulasi Gen*. Jakarta: Universitas Indonesia Press
- Pack, Phillip E., 2001, *Biology.*, 2nd Edition, New York – Cleveland – Indianapolis: Hungry Minds
- Poedjiadji, Anna. 2007. *Dasar-dasar Biokimia*. Jakarta: Universitas Indonesia Press
- Resosudarmo , Sudjiran, Kartawinata, Kuswata, Soegiarto & Apriliani. 1987. *Pengantar Ekologi*. Jakarta: Remaja Karya.

- Sudibyo, Bambang. 2009. *Ensiklopedia Sains dan Teknologi*. Jakarta. PT. Ikrar Mandiri Abadi
- Soeharsono, Martoharsono. 2012. *Biokimia I*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press
- Soemarno. 2011. *Ekologi dan Ilmu Lingkungan*. Bahan Kajian MK. Pengantar Ilmu Lingkungan. PMPSLP - PPSUB
- Soemarwoto, Otto. (1985). *Ekologi Lingkungan Hidup dan Pembangunan*. Jakarta: Djambatan
- Solomon, E.P., L.R. Ber, D.W.Martin and C. Villee. 1996. *Biology*. 4th Edition. Saunders College Publishing
- Subowo, 1995. *Biologi Sel*. Bandung: Penerbit PT. Angkasa
- Suharno, dkk. 2007. *Biologi*. Jilid 1. Jakarta: Penerbit Erlangga
- Suhirman. 2012. *Konsep-konsep Dasar Ilmu Pengetahuan Alam*. Lembaga Pengkajian-Publikasi Islam & Masyarakat (LEPPIM) IAIN Mataram
- Sukarsono. 2009. *Pengantar Ekologi Hewan*. Malang: Universitas Muhammadiyah Malang Press
- Sumardi dan Marianti, A. 2007. *Biologi Sel*, Yogyakarta: Penerbit PT Graha Ilmu
- Sunaryo, Yayan. 2000. *Kimia Dasar*. Jilid 1. Bandung: Penerbit CV. Krama Widya
- Suryo, 2013. *Genetika untuk Strata 1*. Cetakan kelimabelas. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press
- Suwarsono, Heddy. 1990. *Pengantar Ekologi*. Jakarta: Penerbit CV. Rajawali
- Tjitrosomo, Siti Sutarmi. 1998. *Botani Umum 1*. Bandung: Penerbit PT. Angkasa
- Waluyo, Lud. 2010. *Miskonsepsi dan Kontroversi Evolusi serta Implikasinya pada Pembelajaran*. Malang: Universitas Muhammadiyah Malang Press
- Widi Prasetiawan, 2008. *Kimia Dasar I*. Jakarta: Buku Berkualitas Prima
- Winternitz, Katherine A, and Cairney, William J., 1996, *Biological Science: A Molecular Approach.*, Massachusetts, Toronto: D.C. Heath and Company

- Wirahadikusumah, Muhammad.1985. *Biokimia (Metabolisme Energi, Karbohidrat dan Lipid)*. Bandung: Institut Teknologi Bandung
- Wolf. Larry L. 1992. *Ekologi Umum*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press
- Yatim, Wildan. 2012. *Biologi Sel*. Bandung: Penerbit Tarsito Bandung
- Yatim, Wildan.2010. *Biologi Modern: Pengantar Biologi*. Bandung: Penerbit Tarsito Bandung
- Yatim, Wildan.2003. *Biologi Sel Lanjut*. Bandung: Penerbit Tarsito Bandung
- Yatim, Wildan. 2003. *Genetika*. Bandung: Penerbit Tarsito Bandung