

MODUL GURU PEMBELAJAR

MATA PELAJARAN BIOLOGI
SEKOLAH MENENGAH ATAS (SMA)

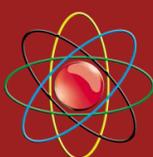
KELOMPOK KOMPETENSI D

PEDAGOGI:
**MODEL-MODEL PEMBELAJARAN IPA DAN
IMPLEMENTASINYA**

Penulis:
Drs. Moh. Syarif, M.Si.

PROFESIONAL:
SISTEM EKSKRESI, ENZIM DAN EVOLUSI

Penulis:
Eka Danti Agustiani, M.Si., dkk.



Pusat Pengembangan dan Pemberdayaan Pendidik
dan Tenaga Kependidikan Ilmu Pengetahuan Alam (PPPPTK IPA)
DIREKTORAT JENDERAL GURU DAN TENAGA KEPENDIDIKAN
KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
TAHUN 2016

MODUL GURU PEMBELAJAR

MATA PELAJARAN BIOLOGI
SEKOLAH MENENGAH ATAS (SMA)

KELOMPOK KOMPETENSI D

MODEL-MODEL PEMBELAJARAN IPA DAN IMPLEMENTASINYA

Penulis:

Drs. Moh. Syarif, M.Si.



**Pusat Pengembangan dan Pemberdayaan Pendidik
dan Tenaga Kependidikan Ilmu Pengetahuan Alam (PPPPTK IPA)**
DIREKTORAT JENDERAL GURU DAN TENAGA KEPENDIDIKAN
KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
TAHUN 2016

MODUL GURU PEMBELAJAR

MATA PELAJARAN BIOLOGI SEKOLAH MENENGAH ATAS (SMA)

KELOMPOK KOMPETENSI D

MODEL-MODEL PEMBELAJARAN IPA DAN IMPLEMENTASINYA

Penulis:
Drs. Moh. Syarif, M.Si.



**Pusat Pengembangan dan Pemberdayaan Pendidik
dan Tenaga Kependidikan Ilmu Pengetahuan Alam (PPPPTK IPA)**
DIREKTORAT JENDERAL GURU DAN TENAGA KEPENDIDIKAN
KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
TAHUN 2016

MODUL GURU PEMBELAJAR

MATA PELAJARAN BIOLOGI SEKOLAH MENENGAH ATAS (SMA)

KELOMPOK KOMPETENSI D

MODEL-MODEL PEMBELAJARAN IPA DAN IMPLEMENTASINYA

Penanggung Jawab

Dr. Sediono Abdullah

Penulis

Drs. Moh. Syarif, M.Si.

022-4231191 syarifp4tkipa@gmail.com

Penyunting

Dr. Dedi Herawadi

Penelaah

Dr. Riandi

Dr. Sri Anggraeni, M.Si.

Dr. Soni Suhandono

Dra. Tati Hermawati, M.Si.

Drs. Triastono Imam P., M.Pd.

Penata Letak

Tresna Dewi Pertiwi, M.Pd..

Copyright ©2016

Pusat Pengembangan dan Pemberdayaan Pendidik dan Tenaga Kependidikan

Ilmu Pengetahuan Alam (PPPPTK IPA)

Direktorat Jenderal Guru dan Tenaga Kependidikan

Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

Dilarang menggandakan sebagian atau keseluruhan isi buku ini untuk kepentingan komersial tanpa izin tertulis dari Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan

KATA SAMBUTAN

Peran guru profesional dalam proses pembelajaran sangat penting sebagai kunci keberhasilan belajar siswa. Guru profesional adalah guru yang kompeten membangun proses pembelajaran yang baik sehingga dapat menghasilkan pendidikan yang berkualitas. Hal tersebut menjadikan guru sebagai komponen yang menjadi fokus perhatian pemerintah pusat maupun pemerintah daerah dalam peningkatan mutu pendidikan terutama menyangkut kompetensi guru.

Pengembangan profesionalitas guru melalui program Guru Pembelajar merupakan upaya peningkatan kompetensi untuk semua guru. Sejalan dengan hal tersebut, pemetaan kompetensi guru telah dilakukan melalui uji kompetensi guru (UKG) untuk kompetensi pedagogi dan profesional pada akhir tahun 2015. Hasil UKG menunjukkan peta kekuatan dan kelemahan kompetensi guru dalam penguasaan pengetahuan. Peta kompetensi guru tersebut dikelompokkan menjadi 10 (sepuluh) kelompok kompetensi. Tindak lanjut pelaksanaan UKG diwujudkan dalam bentuk pelatihan guru paska UKG melalui program Guru Pembelajar. Tujuannya untuk meningkatkan kompetensi guru sebagai agen perubahan dan sumber belajar utama bagi peserta didik. Program Guru Pembelajar dilaksanakan melalui pola tatap muka, dalam jaringan atau daring (*online*), dan campuran (*blended*) tatap muka dengan online.

Pusat Pengembangan dan Pemberdayaan Pendidik dan Tenaga Kependidikan (PPPPTK), Lembaga Pengembangan dan Pemberdayaan Pendidik dan Tenaga Kependidikan Kelautan dan Perikanan Teknologi Informasi dan Komunikasi (LP3TK KPTK), dan Lembaga Pengembangan dan Pemberdayaan Kepala Sekolah (LP2KS) merupakan Unit Pelaksana Teknis di lingkungan Direktorat Jenderal Guru dan Tenaga Kependidikan yang bertanggung jawab dalam mengembangkan perangkat dan melaksanakan peningkatan kompetensi guru sesuai bidangnya. Adapun perangkat pembelajaran yang dikembangkan tersebut



adalah modul untuk program Guru Pembelajar tatap muka dan Guru Pembelajar online untuk semua mata pelajaran dan kelompok kompetensi. Dengan modul ini diharapkan program Guru Pembelajar memberikan sumbangan yang sangat besar dalam peningkatan kualitas kompetensi guru.

Mari kita sukseskan program Guru Pembelajar ini untuk mewujudkan “Guru Mulia Karena Karya.”

Jakarta, Februari 2016

Direktur Jenderal

Guru dan Tenaga Kependidikan

Sumarna Surapranata, Ph.D.

NIP. 195908011985031002

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kami panjatkan ke hadirat Allah SWT atas selesainya Modul Guru Pembelajar Mata Pelajaran IPA SMP, Fisika SMA, Kimia SMA dan Biologi SMA. Modul ini merupakan model bahan belajar (*learning material*) yang dapat digunakan guru untuk belajar lebih mandiri dan aktif.

Modul Guru Pembelajar disusun dalam rangka fasilitasi program peningkatan kompetensi guru paska UKG yang telah diselenggarakan oleh Direktorat Jenderal Guru dan Tenaga Kependidikan. Materi modul dikembangkan berdasarkan Standar Kompetensi Guru sesuai Peraturan Menteri Pendidikan Nasional nomor 16 Tahun 2007 tentang Standar Kualifikasi Akademik dan Kompetensi Guru yang dijabarkan menjadi Indikator Pencapaian Kompetensi Guru.

Modul Guru Pembelajar untuk masing-masing mata pelajaran dijabarkan ke dalam 10 (sepuluh) kelompok kompetensi. Materi pada masing-masing modul kelompok kompetensi berisi materi kompetensi pedagogi dan kompetensi profesional guru mata pelajaran, uraian materi, tugas, dan kegiatan pembelajaran, serta diakhiri dengan evaluasi dan uji diri untuk mengetahui ketuntasan belajar. Bahan pengayaan dan pendalaman materi dimasukkan pada beberapa modul untuk mengakomodasi perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi serta kegunaan dan aplikasinya dalam pembelajaran maupun kehidupan sehari-hari.

Modul ini telah ditelaah dan direvisi oleh tim, baik internal maupun eksternal (praktisi, pakar, dan para pengguna). Namun demikian, kami masih berharap kepada para penelaah dan pengguna untuk selalu memberikan masukan dan penyempurnaan sesuai kebutuhan dan perkembangan ilmu pengetahuan teknologi terkini.

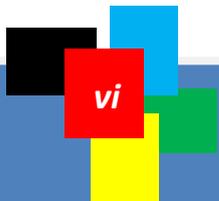


Besar harapan kami kiranya kritik, saran, dan masukan untuk lebih menyempurnakan isi materi serta sistematika modul dapat disampaikan ke PPPPTK IPA untuk perbaikan edisi yang akan datang. Masukan-masukan dapat dikirimkan melalui email para penyusun modul atau ke: p4tkipa@yahoo.com.

Akhirnya kami menyampaikan penghargaan dan terima kasih kepada para pengarah dari jajaran Direktorat Jenderal Guru dan Tenaga Kependidikan, Manajemen, Widyaiswara, Staf PPPPTK IPA, Dosen, Guru, dan Kepala Sekolah serta Pengawas Sekolah yang telah berpartisipasi dalam penyelesaian modul ini. Semoga peran serta dan kontribusi Bapak dan Ibu semuanya dapat memberikan nilai tambah dan manfaat dalam peningkatan kompetensi guru IPA di Indonesia.

Bandung, April 2016
Kepala PPPPTK IPA,

Dr. Sediono, M.Si.
NIP. 195909021983031002





DAFTAR ISI

	Hal
KATA SAMBUTAN	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR GAMBAR	ix
PENDAHULUAN	
	1
A. Latar Belakang	1
B. Tujuan	2
C. Peta Kompetensi	2
D. Ruang Lingkup	3
E. Cara Penggunaan Modul	4
KEGIATAN PEMBELAJARAN	
I. MODEL-MODEL PEMBELAJARAN IPA DAN IMPLEMENTASINYA	6
A. Tujuan	6
B. Indikator Ketercapaian Kompetensi	6
C. Uraian Materi	6
D. Aktivitas Pembelajaran	34
E. Latihan/Kasus/Tugas	42
F. Rangkuman	45
G. Umpan Balik dan Tindak Lanjut	46
KUNCI JAWABAN LATIHAN/KASUS/TUGAS	47
EVALUASI	49
PENUTUP	51
DAFTAR PUSTAKA	53
GLOSARIUM	55



DAFTAR TABEL

		Hal
Tabel 1	Kompetensi Guru Mapel dan Indikator Pencapaian Kompetensi	2
Tabel 1.1	Peranan Guru dan Peserta Didik dalam Pembelajaran Berbasis Masalah	16



DAFTAR GAMBAR

		Hal
Gambar 1.	Bagan Cara Penggunaan Modul	3
Gambar 1.1	Langkah-langkah Pelaksanaan Pembelajaran Berbasis Proyek	27

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Model-model Pembelajaran merupakan sebuah kerangka teori sebuah teori belajar. Guru yang profesional tidak hanya menguasai sejumlah materi pembelajaran, tetapi juga terampil dalam menggunakan model-model pembelajaran yang tepat dan sesuai dengan karakteristik mata pelajaran serta situasi pada saat materi pelajaran tersebut harus disajikan. Selain itu, guru juga harus memilih model pembelajaran yang tepat agar pembelajaran menjadi aktif, inovatif, kreatif, efektif, dan peserta didik memiliki pengalaman belajar sesuai dengan pendekatan saintifik seperti mengamati, menanya, mengumpulkan informasi, mengasosiasi dan mengomunikasikan.

Pada Permendikbud nomor 103 tahun 2014, model pembelajaran yang disarankan dalam pembelajaran IPA diantaranya model *discovery learning*, *project based learning*, *problem based learning* dan *inquiry*. Masing-masing model mempunyai sintak pembelajaran, keunggulan dan kelemahan, dan cara penerapan yang berbeda.

Sesuai dengan Permendiknas nomor 16 tahun 2007 Kompetensi guru pada diklat PKB untuk materi ini adalah kompetensi nomor 2. Menguasai teori belajar dan prinsip-prinsip pembelajaran yang mendidik dan 2.2 “Menerapkan berbagai pendekatan, strategi, metode, dan teknik pembelajaran yang mendidik secara kreatif dalam mata pelajaran yang diampu” dengan sub kompetensi “Memahami model pembelajaran *discovery learning* dan penerapannya dalam pembelajaran Biologi”. Pada modul ini Anda dapat mempelajari konsep model *discovery learning*, sintak model *discovery learning* dan skenario pembelajaran sesuai model *discovery learning*.



B. Tujuan

Setelah Anda belajar dengan modul ini diharapkan terampil dalam memilih model-model pembelajaran IPA serta mampu mendemonstrasikan model yang dipilihnya dalam sebuah praktek pembelajaran.

C. Peta Kompetensi

Kompetensi Inti dan Kompetensi Guru Mata Pelajaran yang diharapkan setelah guru peserta diklat belajar dengan modul ini tercantum pada tabel 1 berikut:

Tabel 1. Kompetensi Inti dan Kompetensi Guru

Kompetensi Guru Mapel	Kompetensi Guru
2.2. Menerapkan berbagai pendekatan, strategi, metode, dan teknik pembelajaran yang mendidik secara kreatif dalam mata pelajaran yang diampu.	<ol style="list-style-type: none">1. Menjelaskan konsep model pembelajaran <i>problem base learning</i>2. Mendeskripsikan sintak model <i>problem base learning</i>3. Mengidentifikasi sintak model <i>problem base learning</i> dari suatu uraian kegiatan pembelajaran4. Merancang skenario pembelajaran sesuai model <i>problem base learning</i>5. Menjelaskan konsep model pembelajaran <i>discovery learning</i>6. Mendeskripsikan sintak model <i>discovery learning</i>7. Mengidentifikasi sintak model <i>discovery learning</i> dari suatu uraian kegiatan pembelajaran8. Merancang skenario pembelajaran sesuai model <i>discovery learning</i>9. Menjelaskan konsep model pembelajaran <i>project based learning</i>10. Mendeskripsikan sintak model <i>project based learning</i>11. Mengidentifikasi sintak model <i>project based learning</i> dari suatu uraian kegiatan pembelajaran12. Merancang skenario pembelajaran sesuai model <i>project base learning</i>



D. Ruang Lingkup

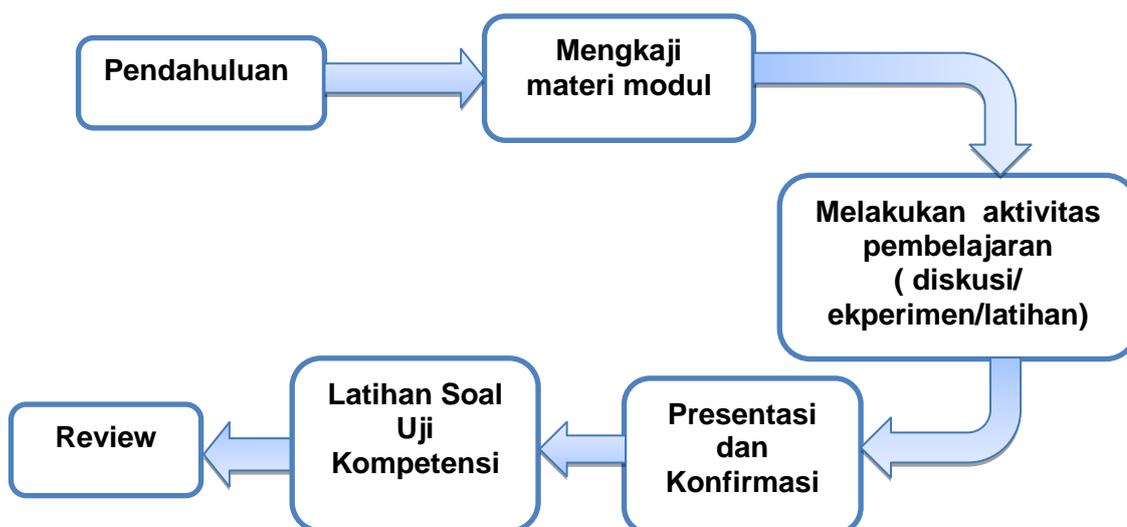
Ruang lingkup materi pada modul ini disusun dalam empat bagian, yaitu bagian Pendahuluan, Kegiatan Pembelajaran, Evaluasi dan Penutup. Bagian Pendahuluan berisi paparan tentang latar belakang modul kelompok kompetensi C, Tujuan belajar, Kompetensi Guru yang diharapkan dicapai setelah pembelajaran, Ruang Lingkup dan Saran Penggunaan Modul. Bagian kegiatan pembelajaran berisi Tujuan, Indikator Pencapaian Kompetensi, Uraian Materi, Aktivitas Pembelajaran, Latihan/Kasus/Tugas, Rangkuman, Umpan Balik dan Tindak Lanjut. Bagian akhir terdiri dari Kunci Jawaban Latihan/Kasus/Tugas, Evaluasi dan Penutup.

Rincian materi pada modul adalah sebagai berikut:

1. Model Pembelajaran *Discovery Learning*.
2. Model Pembelajaran *Problem Based Learning*
3. Model Pembelajaran Berbasis Proyek (*Project Based Learning* = PjBL)

E. Cara Penggunaan Modul

Cara penggunaan modul pada setiap Kegiatan Pembelajaran secara umum sesuai dengan skenario setiap penyajian mata diklat. Langkah-langkah belajar secara umum adalah sebagai berikut.



Gambar 1. Bagan Cara Penggunaan Modul



Deskripsi Kegiatan

1. Pendahuluan

Pada kegiatan pendahuluan fasilitator memberi kesempatan kepada peserta diklat untuk mempelajari :

- a. latar belakang yang memuat gambaran materi diklat.
- b. tujuan penyusunan modul mencakup tujuan semua kegiatan pembelajaran setiap materi diklat.
- c. kompetensi atau indikator yang akan dicapai atau ditingkatkan melalui modul.
- d. ruang lingkup materi kegiatan pembelajaran.
- e. langkah-langkah penggunaan modul.

2. Mengkaji materi diklat

Pada kegiatan ini fasilitator memberi kesempatan kepada peserta diklat untuk mempelajari materi diklat yang diuraikan secara singkat sesuai dengan indikator pencapaian hasil belajar. Peserta dapat mempelajari materi secara individual atau kelompok.

3. Melakukan aktivitas pembelajaran

Pada kegiatan ini peserta melakukan kegiatan pembelajaran sesuai dengan rambu-rambu/intruksi yang tertera pada modul baik berupa diskusi materi, melakukan eksperimen, latihan dan sebagainya.

Pada kegiatan ini peserta secara aktif menggali informasi, mengumpulkan data dan mengolah data sampai membuat kesimpulan kegiatan

4. Presentasi dan Konfirmasi

Pada kegiatan ini peserta melakukan presentasi hasil kegiatan sedangkan fasilitator melakukan konfirmasi terhadap materi dibahas bersama.

5. Review Kegiatan

Pada kegiatan ini peserta dan penyaji mereview materi.

KEGIATAN PEMBELAJARAN

MODEL MODEL PEMBELAJARAN dan IMPLEMENTASINYA (*DISCOVERY LEARNING, PROBLEM BASE LEARNING* dan *PROJECT BASED LEARNING*)

Guru yang profesional tidak hanya menguasai sejumlah materi pembelajaran, tetapi juga terampil dalam menggunakan model-model pembelajaran yang tepat dan sesuai dengan karakteristik mata pelajaran serta situasi pada saat materi pelajaran tersebut harus disajikan. Selain itu, guru juga harus memilih model pembelajaran yang tepat agar pembelajaran menjadi aktif, inovatif, kreatif, efektif, dan peserta didik memiliki pengalaman belajar sesuai dengan pendekatan saintifik seperti mengamati, menanya, mengumpulkan informasi, mengasosiasi dan mengomunikasikan.

Pada Permendikbud nomor 103 tahun 2014, model pembelajaran yang disarankan dalam pembelajaran IPA diantaranya model *discovery learning*, *project based learning*, *problem based learning* dan *inquiry*. Masing-masing model mempunyai sintak pembelajaran, keunggulan dan kelemahan, dan cara penerapan yang berbeda.

Sesuai dengan Permendiknas nomor 16 tahun 2007 Kompetensi guru pada diklat PKB untuk materi ini adalah kompetensi nomor 2. Menguasai teori belajar dan prinsip-prinsip pembelajaran yang mendidik dan 2.2 “Menerapkan berbagai pendekatan, strategi, metode, dan teknik pembelajaran yang mendidik secara kreatif dalam mata pelajaran yang diampu” dengan sub kompetensi “Memahami model-model pembelajaran dan penerapannya dalam pembelajaran Biologi”. Pada modul ini Anda dapat mempelajari konsep, sintak dan skenario pembelajaran sesuai model *discovery learning*, *problem base learning* dan *project based learning*.



A. Tujuan

Setelah belajar dengan modul ini diharapkan peserta diklat dapat meningkatkan pengetahuan dan keterampilan serta mengaplikasikan dalam pembelajaran biologi pada model pembelajaran *discovery learning*, *problem base learning* dan *project based learning*.

B. Indikator Ketercapaian Kompetensi

1. Menjelaskan konsep model pembelajaran *problem base learning*
2. Mendeskripsikan sintaks model *problem base learning*
3. Mengidentifikasi sintaks model *problem base learning* dari suatu uraian kegiatan pembelajaran
4. Merancang skenario pembelajaran sesuai model *problem base learning*
5. Menjelaskan konsep model pembelajaran *discovery learning*
6. Mendeskripsikan sintaks model *discovery learning*
7. Mengidentifikasi sintaks model *discovery learning* dari suatu uraian kegiatan pembelajaran
8. Merancang skenario pembelajaran sesuai model *discovery learning*
9. Menjelaskan konsep model pembelajaran *project based learning*
10. Mendeskripsikan sintaks model *project based learning*
11. Mengidentifikasi sintaks model *project based learning* dari suatu uraian kegiatan pembelajaran
12. Merancang skenario pembelajaran sesuai model *project base learning*

C. Uraian Materi

Model pembelajaran diartikan sebagai suatu rencana mengajar yang memperlihatkan pola pembelajaran tertentu, dalam pola tersebut dapat terlihat kegiatan guru-siswa di dalam mewujudkan kondisi belajar atau sistem lingkungan yang menyebabkan terjadinya belajar pada siswa. Di dalam pola pembelajaran yang dimaksud terdapat karakteristik berupa rentetan atau tahapan perbuatan/kegiatan guru-siswa atau dikenal dengan istilah *sintaks* dalam peristiwa pembelajaran. Secara implisit di balik tahapan pembelajaran tersebut terdapat rasional yang membedakan antara model pembelajaran yang satu dengan model pembelajaran yang lainnya. Model pembelajaran memiliki



karakteristik adanya sintaks (urutan kegiatan/tahapan pembelajaran), sistem sosial (situasi atau norma yang berlaku dalam model, prinsip reaksi, upaya guru dalam membimbing dan merespon siswa atau pola kegiatan bagaimana guru memperlakukan siswa), sistem pendukung (faktor-faktor yang harus diperhatikan, dimiliki guru dalam menggunakan model serta sarana prasarana yang diperlukan untuk melaksanakan model), dan dampak pembelajaran (langsung dan iringan). Dampak pembelajaran langsung merupakan hasil belajar yang dicapai langsung dengan cara mengarahkan siswa pada tujuan yang diharapkan, sedangkan dampak pembelajaran iringan merupakan hasil belajar lainnya sebagai pengiring yang dihasilkan dari interaksi belajar mengajar sebagai dampak dari terciptanya suasana belajar yang dialami siswa tanpa diarahkan oleh guru (Bruce Joyce, 1980, 2000).

1. Model Pembelajaran *Discovery Learning*

a. Definisi

Discovery mempunyai prinsip yang sama dengan inkuiri (*inquiry*) dan *problem Solving*. Tidak ada perbedaan yang prinsipil pada ketiga istilah ini, pada *discovery learning* lebih menekankan pada ditemukannya konsep atau prinsip yang sebelumnya tidak diketahui, masalah yang diperhadapkan kepada siswa semacam masalah yang direkayasa oleh guru. Sedangkan pada inkuiri masalahnya bukan hasil rekayasa, sehingga siswa harus mengerahkan seluruh pikiran dan keterampilannya untuk mendapatkan temuan-temuan di dalam masalah itu melalui proses penelitian, sedangkan *problem solving* lebih memberi tekanan pada kemampuan menyelesaikan masalah. Pada *discovery learning* materi yang akan disampaikan tidak disampaikan dalam bentuk final akan tetapi peserta didik didorong untuk mengidentifikasi apa yang ingin diketahui dilanjutkan dengan mencari informasi sendiri kemudian mengorganisasi atau membentuk (*konstruktif*) apa yang mereka ketahui dan mereka pahami dalam suatu bentuk akhir.

Penggunaan *discovery Learning*, ingin merubah kondisi belajar yang pasif menjadi aktif dan kreatif. Mengubah pembelajaran yang *teacher oriented* ke *student oriented*. Merubah modus Ekspository siswa hanya menerima informasi



secara keseluruhan dari guru ke modus *discovery* siswa menemukan informasi sendiri.

b. Konsep

Di dalam proses belajar, Bruner mementingkan partisipasi aktif dari tiap siswa, dan mengenal dengan baik adanya perbedaan kemampuan. Untuk menunjang proses belajar perlu lingkungan memfasilitasi rasa ingin tahu siswa pada tahap eksplorasi. Lingkungan ini dinamakan *Discovery Learning Environment*, yaitu lingkungan dimana siswa dapat melakukan eksplorasi, penemuan-penemuan baru yang belum dikenal atau pengertian yang mirip dengan yang sudah diketahui. Lingkungan seperti ini bertujuan agar siswa dalam proses belajar dapat berjalan dengan baik dan lebih kreatif.

Dalam *discovery learning* bahan ajar tidak disajikan dalam bentuk akhir, siswa dituntut untuk melakukan berbagai kegiatan menghimpun informasi, membandingkan, mengkategorikan, menganalisis, mengintegrasikan, mereorganisasikan bahan serta membuat kesimpulan-kesimpulan. Bruner mengatakan bahwa proses belajar akan berjalan dengan baik dan kreatif jika guru memberikan kesempatan kepada siswa untuk menemukan suatu konsep, teori, aturan, atau pemahaman melalui contoh-contoh yang ia jumpai dalam kehidupannya (Budiningsih, 2005:41). Pada akhirnya yang menjadi tujuan dalam *discovery learning* menurut Bruner adalah hendaklah guru memberikan kesempatan kepada muridnya untuk menjadi seorang *problem solver*, seorang *scientist*, historin, atau ahli matematika. Dan melalui kegiatan tersebut siswa akan menguasainya, menerapkan, serta menemukan hal-hal yang bermanfaat bagi dirinya.

c. Langkah-langkah Operasional dalam Proses Pembelajaran

- 1) Perencanaan
 - a) Menentukan tujuan pembelajaran
 - b) Melakukan identifikasi karakteristik siswa (kemampuan awal, minat, gaya belajar, dan sebagainya)
 - c) Memilih materi pelajaran



- d) Menentukan topik-topik yang harus dipelajari siswa secara induktif dari contoh-contoh generalisasi
- e) Mengembangkan bahan-bahan belajar yang berupa contoh-contoh, ilustrasi, tugas dan sebagainya untuk dipelajari siswa
- f) Mengatur topik-topik pelajaran dari yang sederhana ke kompleks, dari yang konkret ke abstrak, atau dari tahap enaktif, ikonik sampai ke simbolik
- g) Melakukan penilaian proses dan hasil belajar siswa

2) Pelaksanaan

Menurut Syah (2004) dalam mengaplikasikan metode *discovery learning* di kelas, ada beberapa prosedur yang harus dilaksanakan dalam kegiatan belajar mengajar secara umum sebagai berikut:

a) *Stimulation* (stimulasi/pemberian rangsangan)

Pertama-tama pada tahap ini pelajar dihadapkan pada fenomena yang mengandung permasalahan, sesuatu yang menimbulkan kebingungannya dan timbul keinginan untuk menyelidiki sendiri. Guru dapat memulai kegiatan pembelajaran dengan mengajukan pertanyaan, anjuran membaca buku, dan aktivitas belajar lainnya yang mengarah pada persiapan pemecahan masalah. Stimulasi pada tahap ini berfungsi untuk menyediakan kondisi interaksi belajar yang dapat mengembangkan dan membantu siswa dalam mengeksplorasi bahan. Dengan demikian seorang guru harus menguasai teknik-teknik dalam memberi stimulus kepada siswa agar tujuan mengaktifkan siswa untuk mengeksplorasi dapat tercapai.

b) *Problem statement* (pernyataan/ identifikasi masalah)

Setelah dilakukan *stimulation* guru memberi kesempatan kepada siswa untuk mengidentifikasi sebanyak mungkin masalah yang relevan dengan bahan pelajaran, kemudian salah satunya dipilih dan dirumuskan dalam bentuk hipotesis (jawaban sementara atas pertanyaan masalah).

c) *Data collection* (pengumpulan data)

Pada saat peserta didik melakukan eksperimen atau eksplorasi, guru memberi kesempatan kepada para siswa untuk mengumpulkan informasi sebanyak-banyaknya yang relevan untuk membuktikan benar atau tidaknya hipotesis.



Data dapat diperoleh melalui membaca literatur, mengamati objek, wawancara dengan narasumber, melakukan uji coba sendiri dan sebagainya.

d) *Data processing* (pengolahan data)

Menurut Syah (2004:244) pengolahan data merupakan kegiatan mengolah data dan informasi yang telah diperoleh para siswa baik melalui wawancara, observasi, dan sebagainya, lalu ditafsirkan.

e) *Verification* (pembuktian)

Pada tahap ini siswa melakukan pemeriksaan secara cermat untuk membuktikan benar atau tidaknya hipotesis yang telah ditetapkan, dihubungkan dengan hasil *data processing*. Berdasarkan hasil pengolahan dan tafsiran, atau informasi yang ada, pernyataan atau hipotesis yang telah dirumuskan terdahulu itu kemudian dicek, apakah terjawab atau tidak, apakah terbukti atau tidak.

f) *Generalization* (menarik kesimpulan/generalisasi)

Tahap generalisasi/menarik kesimpulan adalah proses menarik sebuah kesimpulan yang dapat dijadikan prinsip umum dan berlaku untuk semua kejadian atau masalah yang sama, dengan memperhatikan hasil verifikasi. Berdasarkan hasil verifikasi maka dirumuskan prinsip-prinsip yang mendasari generalisasi.

d. Sistem Penilaian

Dalam Model Pembelajaran *discovery*, penilaian dapat dilakukan dengan menggunakan tes maupun non tes. Penilaian dapat berupa penilaian pengetahuan, keterampilan, sikap, atau penilaian hasil kerja siswa. Jika bentuk penilaiannya berupa penilaian pengetahuan, maka dalam model pembelajaran *discovery* dapat menggunakan tes tertulis. Jika bentuk penilaiannya menggunakan penilaian proses, sikap, atau penilaian hasil kerja siswa, maka pelaksanaan penilaian dapat menggunakan contoh-contoh format penilaian sikap seperti yang ada pada uraian penilaian proses dan hasil belajar pada materi berikutnya.



e. Penerapan Model *Discovery Learning* pada pembelajaran Biologi

Penerapan model *discovery learning* pada pembelajaran diawali dengan menganalisis kompetensi dasar dan indikator pencapaian kompetensi selanjutnya mengidentifikasi topik biologi.

1) Identifikasi topik biologi yang sesuai dengan model pembelajaran *discovery learning*

Sebelum membuat rancangan model pembelajaran *discovery learning*, anda dapat menganalisis dahulu kompetensi dasar dan indikator pencapaian kompetensi untuk mengidentifikasi topik-topik yang dapat disajikan dengan model sebagai berikut:

Contoh Identifikasi topik biologi sesuai Model Pembelajaran *discovery learning*

Format Analisis Model Pembelajaran

Mata Pelajaran:	Biologi
Kelas:	XII
Semester:	1

No	Kompetensi Dasar	Indikator	Sub Topik
1	3.3 Menganalisis keterkaitan antara struktur dan fungsi gen, DNA, kromosom dalam proses penurunan sifat pada makhluk hidup serta menerapkan prinsip-prinsip pewarisan sifat dalam kehidupan	3.3.1 Mengidentifikasi struktur kromosom 3.3.2 Mengidentifikasi struktur DNA 3.3.3 Mendeskripsikan proses replikasi DNA 3.3.4 Menjelaskan fungsi Gen	Materi Genetik: Gen, DNA, dan Kromosom
	4.3 Membuat model untuk mensimulasi proses sintesis protein serta peran DNA dan kromosom dalam proses pewarisan sifat.	12.3.1 Memperlihatkan <i>giant cromosom</i> <i>Drosophila melanogaster</i> 3.3.5 Menganalisis hubungan gen, DNA dan kromosom	

2) Penerapan Model *Discovery Learning* Pada Pembelajaran Biologi

Pada model pembelajaran *discovery learning* terdapat prosedur yang harus dilakukan yang meliputi tahap *Stimulation* (stimulasi/pemberian rangsangan), *Problem statement* (pernyataan/identifikasi masalah), *Data collection*

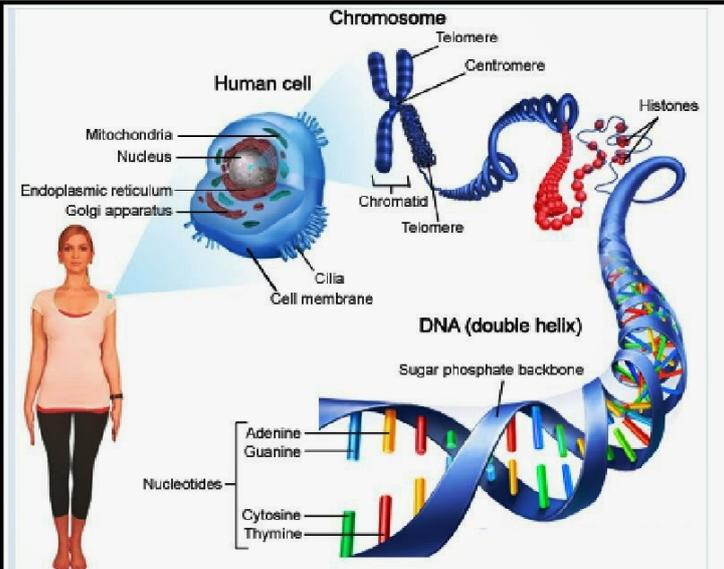


(pengumpulan data), *Data processing* (pengolahan data), *Verification* (pembuktian) dan *Generalization* (menarik kesimpulan/generalisasi)

Contoh penerapan model *Discovery Learning* pada pembelajaran Biologi

Kompetensi Dasar	:	1.1 Mengagumi keteraturan dan kompleksitas ciptaan Tuhan tentang struktur dan fungsi DNA, gen dan kromosom dalam pembentukan dan pewarisan sifat serta pengaturan proses pada makhluk hidup. 2.1 Berperilaku ilmiah: teliti, tekun, jujur sesuai data dan fakta, disiplin, tanggung jawab, dan peduli dalam observasi dan eksperimen, berani dan santun dalam mengajukan pertanyaan dan berargumentasi, peduli lingkungan, gotong royong, bekerjasama, cinta damai, berpendapat secara ilmiah dan kritis, responsif dan proaktif dalam dalam setiap tindakan dan dalam melakukan pengamatan dan percobaan di dalam kelas/laboratorium maupun di luar kelas/laboratorium 3.4 Menganalisis keterkaitan antara struktur dan fungsi gen, DNA, kromosom dalam proses penurunan sifat pada makhluk hidup serta menerapkan prinsip-prinsip pewarisan sifat dalam kehidupan 4.4 Membuat model untuk mensimulasi proses sintesis protein serta peran DNA dan kromosom dalam proses pewarisan sifat.
Topik	:	Materi Genetik
Sub Topik	:	Gen, DNA, dan Kromosom
Indikator	:	4.4.1 Mengidentifikasi struktur kromosom 4.4.2 Mengidentifikasi struktur DNA 4.4.3 Mendeskripsikan proses replikasi DNA 4.4.4 Menjelaskan fungsi Gen 12.3.2 Memperlihatkan <i>giant cromosom</i> Drosophila melanogaster 4.4.5 Menganalisis hubungan gen, DNA dan kromosom
Alokasi Waktu	:	1 x pertemuan (4 JP)



SINTAK PEMBELAJARAN	KEGIATAN PEMBELAJARAN
<p>1. <i>Stimulation</i> (simulasi/Pemberian rangsangan)</p>	<p>Pada tahap ini peserta didik diberi motivasi atau rangsangan untuk memusatkan perhatian pada topik Materi Genetik dengan cara: Menayangkan gambar/foto materi genetik: “Apa yang kalian pikirkan tentang foto/gambar tersebut?”</p> 
<p>2. <i>Problem statement</i> (pertanyaan/identifikasi masalah)</p>	<p>Guru memberikan kesempatan pada peserta didik untuk mengidentifikasi sebanyak mungkin pertanyaan yang berkaitan dengan gambar yang disajikan dan akan dijawab melalui kegiatan belajar, contohnya</p> <ol style="list-style-type: none"> Apa yang dimaksud dengan materi genetika? Terdiri dari apakah materi genetika tersebut? Seperti apakah bentuk kromosom tersebut? Bagaimana materi genetika itu bekerja? Apa fungsi DNA? Bagaimanakah materi genetika itu berperan dalam pewarisan sifat?
<p>3. <i>Data collection</i> (pengumpulan data)</p>	<p>Pada tahap ini peserta didik mengumpulkan informasi yang relevan untuk menjawab pertanyaan yang telah diidentifikasi melalui kegiatan:</p> <ol style="list-style-type: none"> Membaca tentang gen, DNA, kromosom serta sintesa protein dan pembentukan sifat makhluk hidup dari berbagai sumber. Praktikum dengan LK 1 “Mengamati <i>giant chromosome</i> pada lalat buah (<i>Drosophila melanogaster</i>)” Mengumpulkan data tentang hubungan kromosom, DNA, dan gen



4. <i>Data processing</i> (pengolahan Data)	Pada tahap ini peserta didik dalam kelompoknya berdiskusi mengolah data hasil pengamatan dengan cara: Mengolah data hasil pengamatan dengan bantuan pertanyaan-pertanyaan pada lembar kerja.
5. <i>Verification</i> (pembuktian)	Pada tahap ini peserta didik mendiskusikan hasil pengamatannya dan memverifikasi hasil pengamatannya dengan data-data atau teori pada buku sumber
6. <i>Generalization</i> (menarik kesimpulan/ generalisasi)	Pada tahap ini peserta didik berdiskusi untuk menyimpulkan hubungan keterkaitan antara struktur dan fungsi gen, DNA, kromosom dalam proses penurunan sifat pada makhluk hidup serta menerapkan prinsip-prinsip pewarisan sifat dalam kehidupan.

Penjelasan kegiatan pada setiap sintak:

a. *Stimulation* (stimulasi/pemberian rangsangan)

Pada kegiatan ini guru memberikan stimulus dengan mengamati gambar/foto mengenai materi genetika. Dari pengamatan tersebut diharapkan akan menstimulus mereka untuk meningkatkan rasa ingin tahu, bagaimana sebenarnya bentuk/struktur kromosom pada makhluk hidup, mengapa materi genetik itu berperan dalam pewarisan sifat dan bagaimana materi genetika itu bekerja?

b. *Problem statement* (pertanyaan/identifikasi masalah)

Pada tahap ini peserta didik dapat mengidentifikasi pertanyaan yang berkaitan dengan penayangan gambar/foto yang disajikan dan akan dijawab melalui kegiatan belajar, contohnya: Bagaimana cara mengamati kromosom? Pada makhluk apa kromosom itu bisa tampak, dan seperti apa kromosom itu sebenarnya?

c. *Data collection* (pengumpulan data)

Untuk menjawab pertanyaan peserta didik, mereka diminta untuk melakukan percobaan tentang mengamati giant kromosom pada *Drosophila melanogaster* atau akar bawang bombay menggunakan LKS "*Giant chromosome pada Drosophila melanogaster*" dimana pada percobaan ini peserta didik mengamati kelenjar ludah pada *Drosophila melanogaster*.



Peserta didik diminta melakukan percobaan dalam kelompok dengan urutan seperti pada LKS, mengamati hasil percobaan dengan teliti dan mencatat hasil pengamatan.

d. *Data processing* (pengolahan data)

Pada tahap ini peserta didik mengolah data hasil pengamatan bantuan pertanyaan-pertanyaan pada lembar kerja. Dengan bantuan pertanyaan tersebut, peserta didik akan mengolah data yang diperoleh pada praktikum yang sudah dicatat pada LKS pada kegiatan mengumpulkan informasi. Dari pengolahan data ini diharapkan peserta didik dapat menjelaskan struktur dan mendeskripsikan proses replikasi DNA sehingga bisa menghubungkan antara gen, DNA dan kromosom.

e. *Verification* (pembuktian)

Pada tahap verifikasi peserta didik mendiskusikan hasil pengolahan data yaitu dengan membandingkan data hasil pengamatan dengan buku sumber mengenai struktur kromosom pada alat buah dan materi genetik pada ekstrak buah pisang.

f. *Generalization* (menarik kesimpulan)

Pada tahap ini peserta didik menyimpulkan hubungan keterkaitan antara struktur dan fungsi gen, DNA dan RNA, kromosom dalam proses penurunan sifat pada makhluk hidup serta menerapkan prinsip-prinsip pewarisan sifat dalam kehidupan.

2. Model Pembelajaran *Problem Based Learning*

Problem Based Learning (PBL) adalah model pembelajaran yang dirancang agar peserta didik mendapat pengetahuan penting, yang membuat mereka mahir dalam memecahkan masalah, dan memiliki model belajar sendiri serta memiliki kecakapan berpartisipasi dalam team. Proses pembelajarannya menggunakan pendekatan yang sistemik untuk memecahkan masalah atau menghadapi tantangan yang nanti diperlukan dalam kehidupan sehari-hari.

a. Konsep

Pembelajaran berbasis masalah merupakan sebuah model pembelajaran yang menyajikan masalah kontekstual sehingga merangsang peserta didik untuk belajar. Dalam kelas yang menerapkan pembelajaran berbasis masalah, peserta



didik bekerja dalam tim untuk memecahkan masalah dunia nyata (*real world*). Pembelajaran berbasis masalah merupakan suatu model pembelajaran yang menantang peserta didik untuk “belajar bagaimana belajar”, bekerja secara berkelompok untuk mencari solusi dari permasalahan dunia nyata. Masalah yang diberikan ini digunakan untuk mengikat peserta didik pada rasa ingin tahu pada pembelajaran yang dimaksud. Masalah diberikan kepada peserta didik, sebelum peserta didik mempelajari konsep atau materi yang berkenaan dengan masalah yang harus dipecahkan.

Ada lima strategi dalam menggunakan model pembelajaran berbasis masalah (PBL) yaitu:

- 1) Permasalahan sebagai kajian
- 2) Permasalahan sebagai penajakan pemahaman
- 3) Permasalahan sebagai contoh Permasalahan sebagai bagian yang tak terpisahkan dari proses
- 4) Permasalahan sebagai stimulus aktivitas autentik

Peran guru, peserta didik dan masalah dalam pembelajaran berbasis masalah dapat digambarkan sebagai berikut:

Guru sebagai Pelatih	Peserta Didik sebagai <i>Problem Solver</i>	Masalah sebagai Awal Tantangan dan Motivasi
<ol style="list-style-type: none">a) <i>Asking about thinking</i> (bertanya tentang pemikiran).b) Memonitor pembelajaran.c) <i>Probbing</i> (menantang peserta didik untuk berpikir).d) Menjaga agar peserta didik terlibat.e) Mengatur dinamika kelompok.f) Menjaga berlangsungnya proses.	<ol style="list-style-type: none">a) Peserta yang aktif.b) Terlibat langsung dalam pembelajaran.c) Membangun pembelajaran.	<ol style="list-style-type: none">a) Menarik untuk dipecahkan.b) Menyediakan kebutuhan yang ada hubungannya dengan pelajaran yang dipelajari.

b. Model PBL mengacu pada hal-hal sebagai berikut:

- 1) Kurikulum: PBL tidak seperti pada kurikulum tradisional, karena memerlukan suatu strategi sasaran dimana proyek sebagai pusat.
- 2) *Responsibility*: PBL menekankan responsibility dan answerability para peserta didik ke diri dan panutannya.



- 3) **Realisme:** kegiatan peserta didik difokuskan pada pekerjaan yang serupa dengan situasi yang sebenarnya. Aktifitas ini mengintegrasikan tugas autentik dan menghasilkan sikap profesional.
- 4) **Active-learning:** menumbuhkan isu yang berujung pada pertanyaan dan keinginan peserta didik untuk menemukan jawaban yang relevan, sehingga dengan demikian telah terjadi proses pembelajaran yang mandiri.
- 5) **Umpan Balik:** diskusi, presentasi, dan evaluasi terhadap para peserta didik menghasilkan umpan balik yang berharga. Ini mendorong kearah pembelajaran berdasarkan pengalaman.
- 6) **Keterampilan Umum:** PBL dikembangkan tidak hanya pada keterampilan pokok dan pengetahuan saja, tetapi juga mempunyai pengaruh besar pada keterampilan yang mendasar seperti pemecahan masalah, kerja kelompok, dan self-management.
- 7) **Driving Questions:** PBL difokuskan pada permasalahan yang memicu peserta didik berbuat menyelesaikan permasalahan dengan konsep, prinsip dan ilmu pengetahuan yang sesuai.
- 8) **Constructive Investigations:** sebagai titik pusat, proyek harus disesuaikan dengan pengetahuan para peserta didik.
- 9) **Autonomy:** proyek menjadikan aktifitas peserta didik sangat penting.

c. Prinsip Proses Pembelajaran PBL

Prinsip-prinsip PBL yang harus diperhatikan meliputi konsep dasar, pendefinisian masalah, pembelajaran mandiri, pertukaran pengetahuan dan penilaiannya.

Konsep Dasar (*Basic Concept*)

Pada pembelajaran ini fasilitator dapat memberikan konsep dasar, petunjuk, referensi, atau link dan skill yang diperlukan dalam pembelajaran tersebut. Hal ini dimaksudkan agar peserta didik lebih cepat mendapatkan 'peta' yang akurat tentang arah dan tujuan pembelajaran. Konsep yang diberikan tidak perlu detail, diutamakan dalam bentuk garis besar saja, sehingga peserta didik dapat mengembangkannya secara mandiri secara mendalam.

Pendefinisian Masalah (*Defining the Problem*)

Dalam langkah ini fasilitator menyampaikan skenario atau permasalahan dan dalam kelompoknya peserta didik melakukan berbagai kegiatan. Pertama,



brainstorming dengan cara semua anggota kelompok mengungkapkan pendapat, ide, dan tanggapan terhadap skenario secara bebas, sehingga dimungkinkan muncul berbagai macam alternatif pendapat. Kedua, melakukan seleksi untuk memilih pendapat yang lebih fokus. ketiga, menentukan permasalahan dan melakukan pembagian tugas dalam kelompok untuk mencari referensi penyelesaian dari isu permasalahan yang didapat. Fasilitator memvalidasi pilihan-pilihan yang diambil peserta didik yang akhirnya diharapkan memiliki gambaran yang jelas tentang apa saja yang mereka ketahui, apa saja yang mereka tidak ketahui, dan pengetahuan apa saja yang diperlukan untuk menjembatannya.

Pembelajaran Mandiri (*Self Learning*)

Setelah mengetahui tugasnya, masing-masing peserta didik mencari berbagai sumber yang dapat memperjelas isu yang sedang diinvestigasi misalnya dari artikel tertulis di perpustakaan, halaman web, atau bahkan pakar dalam bidang yang relevan. Tujuan utama tahap investigasi, yaitu: (1) agar peserta didik mencari informasi dan mengembangkan pemahaman yang relevan dengan permasalahan yang telah didiskusikan di kelas, dan (2) informasi dikumpulkan untuk dipresentasikan di kelas, relevan dan dapat dipahami.

Pertukaran Pengetahuan (*Exchange Knowledge*)

Setelah mendapatkan sumber untuk keperluan pendalaman materi secara mandiri, pada pertemuan berikutnya peserta didik berdiskusi dalam kelompoknya dapat dibantu guru untuk mengklarifikasi capaiannya dan merumuskan solusi dari permasalahan kelompok. Langkah selanjutnya presentasi hasil dalam kelas dengan mengakomodasi masukan dari pleno, menentukan kesimpulan akhir, dan dokumentasi akhir. Untuk memastikan setiap peserta didik mengikuti langkah ini maka dilakukan dengan mengikuti petunjuk.

d. Langkah langkah Pelaksanaan Pembelajaran Berbasis Masalah

FASE-FASE	PERILAKU GURU
Fase 1 Orientasi peserta didik kepada masalah	<ul style="list-style-type: none">• Menjelaskan tujuan pembelajaran, menjelaskan logistik yang dibutuhkan• Memotivasi peserta didik untuk terlibat aktif dalam pemecahan masalah yang dipilih



FASE-FASE	PERILAKU GURU
Fase 2 Mengorganisasikan peserta didik	Membantu peserta didik mendefinisikan dan mengorganisasikan tugas belajar yang berhubungan dengan masalah tersebut
Fase 3 Membimbing penyelidikan individu dan kelompok	Mendorong peserta didik untuk mengumpulkan informasi yang sesuai, melaksanakan eksperimen untuk mendapatkan penjelasan dan pemecahan masalah
Fase 4 Mengembangkan dan menyajikan hasil karya	Membantu peserta didik dalam merencanakan dan menyiapkan karya yang sesuai seperti laporan, model dan berbagi tugas dengan teman
Fase 5 Menganalisa dan mengevaluasi proses pemecahan masalah	Mengevaluasi hasil belajar tentang materi yang telah dipelajari /meminta kelompok presentasi hasil kerja

Fase 1: Mengorientasikan Siswa pada Masalah

Pembelajaran dimulai dengan menjelaskan tujuan pembelajaran dan aktivitas-aktivitas yang akan dilakukan. Dalam penggunaan PBL, tahapan ini sangat penting dimana guru harus menjelaskan dengan rinci apa yang harus dilakukan oleh siswa. serta dijelaskan bagaimana guru akan mengevaluasi proses pembelajaran. Ada empat hal yang perlu dilakukan dalam proses ini, yaitu sebagai berikut.

- 1) Tujuan utama pengajaran tidak untuk mempelajari sejumlah besar informasi baru, tetapi lebih kepada belajar bagaimana menyelidiki masalah-masalah penting dan bagaimana menjadi siswa yang mandiri.
- 2) Permasalahan dan pertanyaan yang diselidiki tidak mempunyai jawaban mutlak “benar“, sebuah masalah yang rumit atau kompleks mempunyai banyak penyelesaian dan seringkali bertentangan.
- 3) Selama tahap penyelidikan, siswa didorong untuk mengajukan pertanyaan dan mencari informasi.
- 4) Selama tahap analisis dan penjelasan, siswa akan didorong untuk menyatakan ide-idenya secara terbuka dan penuh kebebasan.

Fase 2: Mengorganisasikan Siswa untuk Belajar

Disamping mengembangkan keterampilan memecahkan masalah, pembelajaran PBL juga mendorong siswa belajar berkolaborasi. Pemecahan suatu masalah



sangat membutuhkan kerjasama dan *sharing* antar anggota. Oleh sebab itu, guru dapat memulai kegiatan pembelajaran dengan membentuk kelompok-kelompok siswa dimana masing-masing kelompok akan memilih dan memecahkan masalah yang berbeda.

Fase 3: Membantu Penyelidikan Mandiri dan Kelompok

Penyelidikan adalah inti dari PBL. Meskipun setiap situasi permasalahan memerlukan teknik penyelidikan yang berbeda, namun pada umumnya tentu melibatkan karakter yang identik, yakni pengumpulan data dan eksperimen, berhipotesis dan penjelasan, dan memberikan pemecahan. Pengumpulan data dan eksperimentasi merupakan aspek yang sangat penting. Pada tahap ini, guru harus mendorong siswa untuk mengumpulkan data dan melaksanakan eksperimen (mental maupun aktual) sampai mereka betul-betul memahami dimensi situasi permasalahan. Tujuannya adalah agar peserta didik mengumpulkan cukup informasi untuk menciptakan dan membangun ide mereka sendiri.

Fase 4: Mengembangkan dan Menyajikan Artefak (Hasil Karya) dan Mempamerkannya

Tahap penyelidikan diikuti dengan menciptakan artefak (hasil karya) dan pameran. Artefak lebih dari sekedar laporan tertulis, namun bisa suatu *video tape* (menunjukkan situasi masalah dan pemecahan yang diusulkan), model (perwujudan secara fisik dari situasi masalah dan pemecahannya), program komputer, dan sajian multimedia. Tentunya kecanggihan artefak sangat dipengaruhi tingkat berpikir siswa. Langkah selanjutnya adalah mempamerkan hasil karyanya dan guru berperan sebagai organisator pameran. Akan lebih baik jika dalam pameran ini melibatkan siswa lainnya, guru-guru, orang tua, dan lainnya yang dapat menjadi “penilai” atau memberikan umpan balik.

Fase 5: Analisis dan Evaluasi Proses Pemecahan Masalah

Fase ini dimaksudkan untuk membantu siswa menganalisis dan mengevaluasi proses mereka sendiri dan keterampilan penyelidikan dan intelektual yang mereka gunakan. Selama fase ini guru meminta siswa untuk merekonstruksi pemikiran dan aktivitas yang telah dilakukan selama proses kegiatan belajarnya.



e. Penilaian Pembelajaran Berbasis Masalah

Penilaian pembelajaran dengan PBL dilakukan dengan *authentic assesment*. Penilaian dapat dilakukan dengan portfolio yang merupakan kumpulan yang sistematis pekerjaan-pekerjaan peserta didik yang dianalisis untuk melihat kemajuan belajar dalam kurun waktu tertentu dalam kerangka pencapaian tujuan pembelajaran. Penilaian dalam pendekatan PBL dilakukan dengan cara evaluasi diri (*self-assessment*) dan *peer-assessment*.

- 1) *Self-assessment*. Penilaian yang dilakukan oleh peserta didik itu sendiri terhadap usaha-usahanya dan hasil pekerjaannya dengan merujuk pada tujuan yang ingin dicapai (standard) oleh peserta didik itu sendiri dalam belajar.
- 2) *Peer-assessment*. Penilaian di mana pebelajar berdiskusi untuk memberikan penilaian terhadap upaya dan hasil penyelesaian tugas-tugas yang telah dilakukannya sendiri maupun oleh teman dalam kelompoknya.

Penilaian yang relevan dalam PBL antara lain berikut ini.

1) Penilaian kinerja peserta didik

Pada penilaian kinerja ini, peserta didik diminta untuk unjuk kerja atau mendemonstrasikan kemampuan melakukan tugas-tugas tertentu, seperti menulis karangan, melakukan suatu eksperimen, menginterpretasikan jawaban pada suatu masalah, memainkan suatu lagu, atau melukis suatu gambar.

2) Penilaian portofolio peserta didik

Penilaian portofolio adalah penilaian berkelanjutan yang didasarkan pada kumpulan informasi yang menunjukkan perkembangan kemampuan peserta didik dalam suatu periode tertentu. Informasi perkembangan peserta didik dapat berupa hasil karya terbaik peserta didik selama proses belajar, pekerjaan hasil tes, piagam penghargaan, atau bentuk informasi lain yang terkait kompetensi tertentu dalam suatu mata pelajaran.

3) Penilaian potensi belajar

Penilaian yang diarahkan untuk mengukur potensi belajar peserta didik yaitu mengukur kemampuan yang dapat ditingkatkan dengan bantuan guru atau teman-temannya yang lebih maju. PBL yang memberi tugas-tugas



pemecahan masalah memungkinkan peserta didik untuk mengembangkan dan mengenali potensi kesiapan belajarnya.

4) Penilaian usaha kelompok

Menilai usaha kelompok seperti yang dilakukan pada pembelajaran kooperatif dapat dilakukan pada PBL. Penilaian usaha kelompok mengurangi kompetisi merugikan yang sering terjadi, misalnya membandingkan peserta didik dengan temannya. Penilaian dan evaluasi yang sesuai dengan model pembelajaran berbasis masalah adalah menilai pekerjaan yang dihasilkan oleh peserta didik sebagai hasil pekerjaan mereka dan mendiskusikan hasil pekerjaan secara bersama-sama.

f. Penerapan Model *Problem Based Learning* pada Pembelajaran Biologi

Tahap-tahap PBL meliputi tahap orientasi peserta didik kepada masalah, mengorganisasikan peserta didik, membimbing penyelidikan individu dan kelompok, mengembangkan dan menyajikan hasil karya dan menganalisa dan mengevaluasi proses pemecahan masalah.

Contoh Tahap Pembelajaran *Problem Based Learning*

Kompetensi Dasar	:	3.10 Menganalisis data perubahan lingkungan dan dampak dari perubahan perubahan tersebut bagi kehidupan. 4.10 Memecahkan masalah lingkungan dengan membuat desain produk daur ulang limbah dan upaya pelestarian lingkungan.
Topik	:	Perubahan lingkungan
Sub Topik	:	Upaya manusia dalam mengatasi masalah perubahan lingkungan
Tujuan	:	1. Mendata upaya manusia dalam mengatasi masalah perubahan lingkungan 2. Mendiskusikan dampak ekonomi dan sosial dalam mengatasi masalah perubahan lingkungan



Alokasi Waktu	:	1 x pertemuan (3 JP)
FASE-FASE		KEGIATAN PEMBELAJARAN
Fase 1 Orientasi peserta didik kepada masalah		<p>Bagaimana membedakan gambar/foto/video mengenai beberapa lingkungan yang mengalami perubahan lingkungan (pencemaran udara, air, tanah, suara)?</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>Gambar 9.28 Limbah industri yang dibuang langsung tanpa diolah dapat mengakibatkan pencemaran air.</p> <p><small>Sumber: Ilmu Pengetahuan Populer, 2005</small></p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Gambar 9.30 Sampah yang menumpuk di tempat pembuangan akhir sampah.</p> <p><small>Sumber: Bank Gambar Penerbit, 2006</small></p> </div> </div>
Fase 2 Mengorganisasikan peserta didik		<p>Pada tahap ini guru membantu peserta didik mendefinisikan dan mengorganisasikan tugas belajar yang berhubungan dengan masalah tersebut. Peserta didik dikelompokkan secara heterogen, masing-masing mengkaji lembar kegiatan non eksperimen pada pertemuan pertama.</p> <p>Peserta didik mendiskusikan hal-hal yang harus dikerjakan dan konsep-konsep yang harus didiskusikan dan pertanyaan-pertanyaan yang harus dijawab untuk memecahkan masalah.</p>
Fase 3 Membimbing penyelidikan individu dan kelompok		<ol style="list-style-type: none"> 1. Siswa berdiskusi dalam kelompok mengumpulkan informasi untuk menciptakan dan membangun ide mereka sendiri dalam menjawab masalah terkait materi dalam LKS. 2. Siswa mengidentifikasi alternatif solusi terkait masalah yang dirumuskan. 3. Guru membimbing siswa dalam memecahkan masalah.
Fase 4 Mengembangkan dan menyajikan hasil karya		<ol style="list-style-type: none"> 1. Siswa menjawab pertanyaan dalam LKS dan menyajikannya dalam bentuk laporan tertulis. 2. Siswa mempresentasikan laporan pembahasan hasil temuan alternatif solusi dan penarikan kesimpulan.
Fase 5 Menganalisa dan mengevaluasi proses pemecahan masalah		<ol style="list-style-type: none"> 1. Siswa dibimbing guru melakukan analisis terhadap pemecahan masalah yang telah ditemukan siswa. 2. Mendiskusikan hasil pengamatan dengan memperhatikan pertanyaan-pertanyaan pada lembar kegiatan 3. Menyimpulkan perubahan lingkungan dan dampak perubahan tersebut bagi kehidupan. 4. Guru melakukan evaluasi hasil belajar mengenai materi yang telah dipelajari siswa



Lembar Kerja

Perancangan Penerapan Model-Model Pada Pembelajaran Biologi

Tujuan Kegiatan: Pada kegiatan ini diharapkan peserta mampu merancang kegiatan pembelajaran dengan menerapkan model *Problem Based Learning* pada pembelajaran Biologi

Langkah Kegiatan :

- 1) Kerjakan secara berpasangan, pelajari konsep model-model pembelajaran pada hand-out dan contoh-contoh penerapannya dalam pembelajaran biologi
- 2) Cermati lembar kerja perancangan model pembelajaran.
- 3) Pilihlah satu subtopik/submateri/subtema untuk satu kali tatap muka yang sesuai salah satu model. Sub topik/materi yang dipilih sebaiknya sesuai dengan topik/materi yang telah dianalisis kelompok Anda pada saat Analisis Buku.
- 4) Isilah lembar kerja perancangan model pembelajaran sesuai dengan model yang Anda pilih.
- 5) Presentasikan hasil rancangan Anda!
- 6) Perbaiki rancangan jika ada saran atau usulan perubahan.

Format Perancangan Model Pembelajaran

Kompetensi Dasar	:	3... 4... 2...
Topik	:	
Sub Topik	:	
Tujuan	:	
Alokasi Waktu	:	1x TM

FASE-FASE	KEGIATAN PEMBELAJARAN
Fase 1 Orientasi peserta didik kepada masalah
Fase 2 Mengorganisasikan peserta didik
Fase 3 Membimbing penyelidikan individu dan kelompok
Fase 4 Mengembangkan dan menyajikan hasil karya
Fase 5 Menganalisa dan mengevaluasi proses pemecahan masalah



3. Model Pembelajaran Berbasis Proyek (*Project Based Learning* = PjBL)

a. Definisi

Pembelajaran Berbasis Proyek (*Project Based Learning*=PjBL) adalah model pembelajaran yang menggunakan proyek/kegiatan sebagai inti pembelajaran. Peserta didik melakukan eksplorasi, penilaian, interpretasi, sintesis, dan informasi untuk menghasilkan berbagai bentuk hasil belajar.

PjBL merupakan model belajar yang menggunakan masalah sebagai langkah awal dalam mengumpulkan dan mengintegrasikan pengetahuan baru berdasarkan pengalamannya dalam beraktivitas secara nyata. Melalui PjBL, proses *inquiry* dimulai dengan memunculkan pertanyaan penuntun (*a guiding question*) dan membimbing siswa dalam sebuah proyek kolaboratif yang mengintegrasikan berbagai subjek (materi) dalam kurikulum. PjBL merupakan investigasi mendalam tentang sebuah topik dunia nyata, hal ini akan berharga bagi atensi dan usaha peserta didik.

1) Karakteristik model *project based learning*

Pembelajaran Berbasis Proyek memiliki karakteristik sebagai berikut:

- a) peserta didik membuat keputusan tentang sebuah kerangka kerja,
- b) adanya permasalahan atau tantangan yang diajukan kepada peserta didik,
- c) peserta didik mendesain proses untuk menentukan solusi atas permasalahan atau tantangan yang diajukan,
- d) peserta didik secara kolaboratif bertanggung jawab untuk mengakses dan mengelola informasi untuk memecahkan permasalahan,
- e) proses evaluasi dijalankan secara kontinyu,
- f) peserta didik secara berkala melakukan refleksi atas aktivitas yang sudah dijalankan,
- g) produk akhir aktivitas belajar akan dievaluasi secara kualitatif,
- h) situasi pembelajaran sangat toleran terhadap kesalahan dan perubahan

Peran instruktur atau guru dalam Pembelajaran Berbasis Proyek sebaiknya sebagai fasilitator, pelatih, penasehat dan perantara untuk mendapatkan hasil yang optimal sesuai dengan daya imajinasi, kreasi dan inovasi dari siswa.

Beberapa hambatan dalam implementasi metode *project based learning* antara lain banyak guru merasa nyaman dengan kelas tradisional, dimana guru



memegang peran utama di kelas. Ini merupakan suatu transisi yang sulit, terutama bagi guru yang kurang atau tidak menguasai teknologi.

2) Kelebihan dan kelemahan *project based learning*

Setiap model pembelajaran ada kelebihan dan kelemahan pada penerapan *project based learning* dapat dijelaskan sebagai berikut.

Kelebihan *project based learning*:

- a) Meningkatkan motivasi belajar peserta didik untuk belajar, mendorong kemampuan mereka untuk melakukan pekerjaan penting, dan mereka perlu untuk dihargai.
- b) Meningkatkan kemampuan pemecahan masalah.
- c) Membuat peserta didik menjadi lebih aktif dan berhasil memecahkan problem-problem yang kompleks.
- d) Meningkatkan kolaborasi.
- e) Mendorong peserta didik untuk mengembangkan dan mempraktikkan keterampilan komunikasi.
- f) Meningkatkan keterampilan peserta didik dalam mengelola sumber.
- g) Memberikan pengalaman kepada peserta didik pembelajaran dan praktik dalam mengorganisasi proyek, dan membuat alokasi waktu dan sumber-sumber lain seperti perlengkapan untuk menyelesaikan tugas.
- h) Menyediakan pengalaman belajar yang melibatkan peserta didik secara kompleks dan dirancang untuk berkembang sesuai dunia nyata.
- i) Melibatkan para peserta didik untuk belajar mengambil informasi dan menunjukkan pengetahuan yang dimiliki, kemudian diimplementasikan dengan dunia nyata.
- j) Membuat suasana belajar menjadi menyenangkan, sehingga peserta didik maupun pendidik menikmati proses pembelajaran.

Kelemahan *project based learning*

- a) Peserta didik yang memiliki kelemahan dalam penelitian atau percobaan dan pengumpulan informasi akan mengalami kesulitan.
- b) Kemungkinan adanya peserta didik yang kurang aktif dalam kerja kelompok.



- c) Ketika topik yang diberikan kepada masing-masing kelompok berbeda, dikhawatirkan peserta didik tidak bisa memahami topik secara keseluruhan.

Untuk mengatasi kelemahan dari *project based learning* di atas seorang pendidik harus dapat mengatasi dengan cara memfasilitasi peserta didik dalam menghadapi masalah, membatasi waktu peserta didik dalam menyelesaikan proyek, meminimalis dan menyediakan peralatan yang sederhana yang terdapat di lingkungan sekitar, memilih lokasi penelitian yang mudah dijangkau sehingga tidak membutuhkan banyak waktu dan biaya, menciptakan suasana pembelajaran yang menyenangkan sehingga instruktur dan peserta didik merasa nyaman dalam proses pembelajaran.

Project-based learning ini juga menuntut siswa untuk mengembangkan keterampilan seperti kolaborasi dan refleksi. Menurut studi penelitian, *project-based learning* membantu siswa untuk meningkatkan keterampilan sosial mereka, sering menyebabkan absensi berkurang dan lebih sedikit masalah disiplin di kelas. *Project-based learning* juga meningkatkan antusiasme untuk belajar.

b. Langkah-Langkah Operasional

Langkah langkah pelaksanaan Pembelajaran Berbasis Proyek dapat dijelaskan dengan diagram sebagai berikut:



Gambar 2. Langkah langkah Pelaksanaan Pembelajaran Berbasis Proyek



Penjelasan langkah-langkah Pembelajaran Berbasis Proyek sebagai berikut.

1) Penentuan Pertanyaan Mendasar (*Start With the Essential Question*)

Pembelajaran dimulai dengan pertanyaan esensial, yaitu pertanyaan yang dapat memberi penugasan peserta didik dalam melakukan suatu aktivitas. Mengambil topik yang sesuai dengan realitas dunia nyata dan dimulai dengan sebuah investigasi mendalam dan topik yang diangkat relevan untuk para peserta didik.

2) Mendesain Perencanaan Proyek (*Design a Plan for the Project*)

Perencanaan dilakukan secara kolaboratif antara pengajar dan peserta didik. Dengan demikian peserta didik diharapkan akan merasa “memiliki” atas proyek tersebut. Perencanaan berisi tentang aturan main, pemilihan aktivitas yang dapat mendukung dalam menjawab pertanyaan esensial, dengan cara mengintegrasikan berbagai subjek yang mungkin, serta mengetahui alat dan bahan yang dapat diakses untuk membantu penyelesaian proyek.

3) Menyusun Jadwal (*Create a Schedule*)

Pengajar dan peserta didik secara kolaboratif menyusun jadwal aktivitas dalam menyelesaikan proyek. Aktivitas pada tahap ini antara lain: (1) membuat timeline untuk menyelesaikan proyek, (2) membuat deadline penyelesaian proyek, (3) membawa peserta didik agar merencanakan cara yang baru, (4) membimbing peserta didik ketika mereka membuat cara yang tidak berhubungan dengan proyek, dan (5) meminta peserta didik untuk membuat penjelasan (alasan) tentang pemilihan suatu cara.

4) Memonitor peserta didik dan kemajuan proyek (*Monitor the Students and the Progress of the Project*)

Pengajar bertanggung jawab untuk melakukan monitor terhadap aktivitas peserta didik selama menyelesaikan proyek. Monitoring dilakukan dengan cara memfasilitasi peserta didik pada setiap proses. Dengan kata lain pengajar berperan menjadi mentor bagi aktivitas peserta didik. Agar mempermudah proses monitoring, dibuat sebuah rubrik yang dapat merekam keseluruhan aktivitas yang penting.

5) Menguji Hasil (*Assess the Outcome*)

Penilaian dilakukan untuk membantu pengajar dalam mengukur ketercapaian standar, berperan dalam mengevaluasi kemajuan masing-masing peserta didik,



memberi umpan balik tentang tingkat pemahaman yang sudah dicapai peserta didik, membantu pengajar dalam menyusun strategi pembelajaran berikutnya.

6) Mengevaluasi Pengalaman (*Evaluate the Experience*)

Pada akhir proses pembelajaran, pengajar dan peserta didik melakukan refleksi terhadap aktivitas dan hasil proyek yang sudah dijalankan. Proses refleksi dilakukan baik secara individu maupun kelompok. Pada tahap ini peserta didik diminta untuk mengungkapkan perasaan dan pengalamannya selama menyelesaikan proyek. Pengajar dan peserta didik mengembangkan diskusi dalam rangka memperbaiki kinerja selama proses pembelajaran, sehingga pada akhirnya ditemukan suatu temuan baru (*new inquiry*) untuk menjawab permasalahan yang diajukan pada tahap pertama pembelajaran.

c. Peran Guru dan Peserta Didik

Peran guru pada Pembelajaran Berbasis Proyek meliputi:

1. Merencanakan dan mendesain pembelajaran,
2. Membuat strategi pembelajaran,
3. Membayangkan interaksi yang akan terjadi antara guru dan siswa,
4. Mencari keunikan siswa (mengelompokkan dan memperhatikan gaya belajar siswa),
5. Menilai siswa dengan cara transparan dan berbagai macam penilaian dan
6. Membuat portofolio pekerjaan siswa.

Peran peserta didik pada Pembelajaran Berbasis Proyek meliputi:

1. Menggunakan kemampuan bertanya dan berpikir,
2. Melakukan riset sederhana,
3. Mempelajari ide dan konsep baru,
4. Belajar mengatur waktu dengan baik,
5. Melakukan kegiatan belajar sendiri/kelompok,
6. Mengaplikasikan hasil belajar lewat tindakan dan
7. Melakukan interaksi sosial (wawancara, survey, observasi, dll)



d. Sistem Penilaian

Penilaian pembelajaran berbasis proyek harus dilakukan secara menyeluruh terhadap sikap, pengetahuan dan keterampilan yang diperoleh siswa selama pembelajaran.

Penilaian proyek pada model ini merupakan kegiatan penilaian terhadap suatu tugas yang harus diselesaikan dalam periode/waktu tertentu. Tugas tersebut berupa suatu investigasi sejak dari perencanaan, pengumpulan data, pengorganisasian, pengolahan dan penyajian data. Penilaian proyek dapat digunakan untuk mengetahui pemahaman, kemampuan mengaplikasikan, kemampuan penyelidikan dan kemampuan menginformasikan peserta didik pada mata pelajaran tertentu secara jelas.

Pada penilaian proyek setidaknya ada 3 hal yang perlu dipertimbangkan yaitu:

1. Kemampuan pengelolaan: Kemampuan peserta didik dalam memilih topik, mencari informasi dan mengelola waktu pengumpulan data serta penulisan laporan.
2. Relevansi: Kesesuaian dengan mata pelajaran, dengan mempertimbangkan tahap pengetahuan, pemahaman dan keterampilan dalam pembelajaran.
3. Keaslian: Proyek yang dilakukan peserta didik harus merupakan hasil karyanya, dengan mempertimbangkan kontribusi guru berupa petunjuk dan dukungan terhadap proyek peserta didik.

Penilaian proyek dilakukan mulai dari perencanaan, proses pengerjaan, sampai hasil akhir proyek. Untuk itu, guru perlu menetapkan hal-hal atau tahapan yang perlu dinilai, seperti penyusunan disain, pengumpulan data, analisis data, dan menyiapkan laporan tertulis. Laporan tugas atau hasil penelitian juga dapat disajikan dalam bentuk poster. Pelaksanaan penilaian dapat menggunakan alat/instrumen penilaian berupa daftar cek ataupun skala penilaian.

e. Contoh Penerapan *Project Based Learning* Dalam Pembelajaran Biologi

Model pembelajaran berbasis proyek pada penerapannya melalui tahap-tahap:

1. Penentuan Pertanyaan Mendasar,
2. Mendesain Perencanaan Proyek,
3. Menyusun Jadwal,
4. Memonitor peserta didik dan kemajuan proyek,
5. Menguji Hasil, dan 6) Mengevaluasi Pengalaman



Pada penerapannya dalam pembelajaran guru dan peserta didik dapat bekerja sama mendisain proyek, merancang perencanaan proyek dan menyusun jadwal. Untuk memandu pembelajaran ini guru dapat mendesain instrumen-instrumen lembar kerja peserta didik karena pelaksanaan pembelajaran umumnya dilakukan sebagai tugas diluar tatap muka kecuali pelaporan hasil proyek. Untuk penilaiannya guru harus menyiapkan instrumen penilaian proyek. Berikut ini contoh lembar kerja pelaksanaan tugas proyek yang akan dilakukan peserta didik.

1) Lembar Kerja Tugas Proyek

Lembar kerja tugas proyek pada pembelajaran biologi sebelum kegiatan tatap muka misalnya membuat model/charta dan poster. Untuk mengerjakan proyek, peserta diberi panduan kerja agar tugas dapat dikerjakan secara efektif dan efisien.

Berikut ini contoh lembar kegiatan dan format laporan Pembelajaran Berbasis Proyek.

KEGIATAN PEMBELAJARAN BERBASIS PROYEK	
MATA PELAJARAN	: Biologi
TOPIK	: Virus
SUB TOPIK	: Peranan Virus dalam Kehidupan dan jenis-jenis partisipasi remaja dalam menanggulangi penyebaran virus
TUGAS	: Merancang dan membuat model/charta dan poster kampanye peran virus dalam aspek kesehatan
NAMA	:
KELAS	:
KOMPETENSI DASAR	
3.3 Menerapkan pemahaman tentang virus berkaitan dengan ciri, replikasi dan peran virus dalam aspek kesehatan masyarakat	
4.3 Menyajikan data tentang replikasi dan peran virus dalam aspek kesehatan dalam bentuk model/charta.	



INDIKATOR

1. Menerapkan pemahaman tentang peranan virus dalam menanggulangi penyebaran virus
2. Merancang dan mendesain model/charta atau poster tentang replikasi dan peran virus dalam aspek kesehatan
3. Mempresentasikan model/charta atau poster hasil rancangan yang dihasilkan

PENTUNJUK UMUM

1. Membaca tentang peran virus dalam kehidupan (dampak positif dan negatif secara ekonomi dan sosial) dari berbagai sumber
2. Mengamati berbagai gambar tentang peranan virus pada tumbuhan, hewan dan manusia.
3. Pelajari cara membuat model/charta atau poster dari buku atau sumber lainnya
4. Buat desain, bentuk dan isi proyek yang akan dilakukan (termasuk apa yang seharusnya dilakukan oleh para remaja dalam menanggulangi penyebaran virus)
5. Selamat mencoba, mudah-mudahan hasil kreativitasmu dapat dimanfaatkan untuk meningkatkan pemahaman tentang Peranan virus dalam menanggulangi penyebaran virus. Semangat!

2) Laporan Kegiatan Pembelajaran Berbasis Proyek

Laporan kegiatan pembelajaran berbasis proyek dapat berupa laporan kegiatan merancang model/charta atau poster, menguji model/charta atau poster dan laporan penelitian yang dilakukan dengan menggunakan model rancangan yang dibuat.

LAPORAN KEGIATAN PEMBELAJARAN BERBASIS PROYEK	
MATA PELAJARAN TOPIK	: Biologi : Virus
SUB TOPIK	: Peranan Virus dalam Kehidupan dan jenis-jenis partisipasi remaja dalam menanggulangi penyebaran virus
TUGAS	: Merancang dan membuat model/charta dan poster kampanye peran virus dalam aspek kesehatan



NAMA : KELAS :	
Mendesain Charta/Model Atau Poster A. Petunjuk Khusus 1. Setelah mempelajari konsep peranan virus dalam kehidupan dan jenis-jenis partisipasi remaja dalam menanggulangi penyebaran virus, buatlah rancangan/desain charta/model atau poster. 2. Tulislah rancangan berikut gambar dan keterangan gambarnya! 3. Uraikan cara penggunaan charta/model atau poster!	
Tanggal Merancang :	
Alat dan Bahan :	
Gambar Rancangan dan Keterangan Gambar :	
Cara Menggunakan charta/model atau poster:	
B. Laporan Penggunaan Model/Charta Atau Poster Petunjuk Khusus Setelah Anda membuat model/charta atau poster peran virus dalam aspek kesehatan, kajilah model/charta atau poster tersebut, laporkan hasil pengujian menggunakan format sebagai berikut.	
Tanggal Pengkajian : Kegiatan: 1. Sistematika Penulisan 2. Keakuratan sumber data 3. Kuantitas sumber data 4. Analisis data 5. Penarikan kesimpulan	Hasil Pengamatan dan catatan perbaikan:
Tanggal Perbaikan dan Pengujian :	Hasil Pengamatan



C. Laporan Penelitian Sederhana Berdasarkan hasil kegiatan ini, tuliskan sebuah laporan penelitian sederhana tentang peranan virus dalam aspek kesehatan. Buat Judul yang menarik, tulis laporan secara sistematis.	

D. Aktivitas Pembelajaran

Setelah mengkaji materi tentang model model pembelajaran di atas. Anda dapat mencoba mengidentifikasi topik biologi yang dapat disajikan menggunakan model model pembelajaran terpilih. Selanjutnya Anda berlatih menganalisis model pembelajaran dari kurikulum Biologi SMA dan membuat skenario pembelajaran satu topik biologi menggunakan model pembelajaran terpilih.

Contoh Analisis Model Pembelajaran

Mata Pelajaran	:	Biologi
Kelas	:	XII
Semester	:	1
Topik	:	Materi Genetik

Kompetensi Dasar	Indikator	Sub Topik	Model Pembelajaran
1.3 Menganalisis keterkaitan antara struktur dan fungsi gen, DNA, kromosom dalam proses penurunan sifat pada makhluk hidup serta menerapkan prinsip-prinsip pewarisan sifat dalam kehidupan	<ul style="list-style-type: none">- Mengidentifikasi struktur kromosom- Mengidentifikasi struktur DNA- Mendeskripsikan proses replikasi DNA- Menjelaskan fungsi Gen- Memperlihatkan giant kromosom <i>Drosophila melanogaster</i>- Melakukan ekstraksi DNA buah-buahan- Menganalisis hubungan gen,	<ul style="list-style-type: none">- Gen, DNA Kromosom - Sintesis Protein	<i>Discovery Learning</i>



	<p>DNA dan kromosom</p> <ul style="list-style-type: none"> • Mendeskripsikan struktur RNA • Membedakan jenis RNA dalam sintesis protein • Mengidentifikasi proses transkripsi dan translasi dalam sintesis protein • Mendeskripsikan proses sintesis protein dan pembentukan sifat pada makhluk hidup 		
<p>1.3 Membuat model untuk mensimulasi proses sintesis protein serta peran DNA dan kromosom dalam proses pewarisan sifat</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Merancang lembar kerja untuk mensimulasi proses sintesis protein serta peran DNA dan kromosom dalam proses pewarisan sifat ▪ Merancang model untuk mensimulasi proses sintesis protein serta peran DNA dan kromosom dalam proses pewarisan sifat (struktur dan macam DNA) ▪ Membuat model untuk mensimulasi proses sintesis protein serta peran DNA dan kromosom dalam proses pewarisan sifat (struktur dan macam DNA) ▪ Mempresentasikan model/charta atau poster hasil rancangan yang dihasilkan 		<p><i>Project Based Learning</i></p>



Analisis Model Pembelajaran

Tujuan Kegiatan : Melalui diskusi kelompok peserta mampu menganalisis model pembelajaran berdasarkan kompetensi dasar dan indikator pencapaian kompetensi.

Langkah Kegiatan

1. Pelajari *hand out* tentang model-model pembelajaran
2. Siapkan dokumen kurikulum dan silabus.
3. Pelajari lembar kerja analisis model pembelajaran.
4. Isilah Lembar kerja analisis model pembelajaran dengan mencantumkan kompetensi dasar dan indikator pencapaian kompetensi dan topik/sub topik pada kolom yang tersedia.
5. Analisis model pembelajaran yang tepat untuk proses pembelajaran pada topik yang dipilih dengan kompetensi dasar dan indikator pencapaian kompetensinya.

Format Analisis Model Pembelajaran

Mata Pelajaran :	
Kelas :	
Semester :	
Topik :	

Kompetensi Dasar	Indikator	Sub Topik	Model Pembelajaran
3....		a. b. c.
4.			



Kegiatan 1

Analisis Model Pembelajaran

Tujuan Kegiatan: Melalui diskusi kelompok peserta mampu menganalisis model pembelajaran berdasarkan kompetensi dasar dan indikator pencapaian kompetensi.

Langkah Kegiatan

1. Pelajari *hand out* tentang model-model pembelajaran!
2. Siapkan dokumen kurikulum dan hasil kegiatan analisis kurikulum!
3. Pelajari lembar kerja analisis model pembelajaran!
4. Isilah Lembar kerja analisis model pembelajaran dengan mencantumkan kompetensi dasar dan indikator pencapaian kompetensi dan topik/sub topik pada kolom yang tersedia!
5. Analisis model pembelajaran yang tepat untuk proses pembelajaran pada topik yang dipilih dengan kompetensi dasar dan indikator pencapaian kompetensinya!

Mata Pelajaran:	
Kelas:	
Semester:	

No	Kompetensi Dasar	Indikator	Sub Topik
1	3.		
	4.....		
2	3.....		
	4.....		
2	3.....		
	4.....		



Kegiatan 2

Perancangan Penerapan Model-model Pembelajaran pada materi Biologi

Tujuan Kegiatan : Pada kegiatan ini diharapkan peserta mampu merancang pembelajaran Biologi dengan menerapkan model *model* pembelajaran terpilih.

Langkah Kegiatan :

1. Pelajari konsep model-model pembelajaran pada *hand-out* dan contoh-contoh penerapannya pada pembelajaran biologi.
2. Cermati lembar kerja perancangan model pembelajaran.
3. Pilihlah satu subtopik/submateri/subtema untuk satu kali tatap muka yang sesuai salah satu model. Sub topik/materi yang dipilih sebaiknya sesuai dengan topik/materi yang telah dianalisis kelompok Anda pada saat Analisis Buku.
4. Isilah Lembar Kerja perancangan model pembelajaran sesuai dengan model yang Anda pilih.
5. Presentasikan hasil rancangan Anda.
6. Perbaiki rancangan jika ada saran atau usulan perbaikan.

Format Perancangan Model Pembelajaran

a. Model *Problem Based Learning*

Kompetensi Dasar	:	3. 4.
Topik	:
Sub Topik	:
Tujuan	:
Alokasi Waktu	:	1x TM



FASE-FASE	KEGIATAN PEMBELAJARAN
Fase 1 Orientasi peserta didik kepada masalah
Fase 2 Mengorganisasikan peserta didik	
Fase 3 Membimbing penyelidikan individu dan kelompok	
Fase 4 Mengembangkan dan menyajikan hasil karya	
Fase 5 Menganalisa dan mengevaluasi proses pemecahan masalah	

b. Model *Discovery Learning*

Kompetensi Dasar	: 3. 4.
Topik	:
Sub Topik	:
Tujuan	:
Alokasi Waktu	: 1 x TM

Tahap Pembelajaran	Kegiatan Pembelajaran
1. <i>Stimulation</i> (simulasi/Pemberian rangsangan)	
2. <i>Problem statemen</i> (pertanyaan/identifikasi masalah)	
3. <i>Data collection</i> (pengumpulandata)	
4. <i>Data processing</i> (pengolahan Data)	
5. <i>Verification</i> (pembuktian)	
6. <i>Generalization</i> (menarik kesimpulan/generalisasi)	

**c. Model *Project Based Learning***

Kompetensi Dasar	:	3..... 4..... 2.....
Topik	:	
Sub Topik	:	
Tujuan	:	
Alokasi Waktu	:	1x TM

Tahapan Pembelajaran	KEGIATAN PEMBELAJARAN
1. Menentukan pertanyaan mendasar (<i>Start With the Essential Question</i>)
2. Menyusun perencanaan proyek (<i>Design a Plan for the Project</i>)
3. Menyusun jadwal (<i>Create a Schedule</i>)
4. Memantau siswa dan kemajuan proyek (<i>Monitor the Students and the Progress of the Project</i>)
5. Menguji hasil proyek (<i>Assess the Outcome</i>)
6. Mengevaluasi pengalaman (<i>Evaluate the Experience</i>)



E. Latihan/Kasus/Tugas

1. Model pembelajaran yang sebaiknya direncanakan guru untuk memfasilitasi peserta didik dalam mencapai kompetensi berikut 3.10. “Menganalisis data perubahan lingkungan dan dampak dari perubahan perubahan tersebut bagi kehidupan.” adalah....
 - A. *Cooperative Learning*
 - B. *Discovery Learning*
 - C. *Problem Based Learning*
 - D. *Project Based Learning*
2. Orientasi peserta didik kepada masalah; mengorganisasikan peserta didik; membimbing penyelidikan individu dan kelompok; mengembangkan dan menyajikan hasil karya; dan menganalisa dan mengevaluasi proses pemecahan masalah merupakan sintak dari model pembelajaran
 - A. berbasis pemecahan masalah
 - B. berbasis penyingkapan/penelitian
 - C. berbasis pendekatan saintifik
 - D. berbasis proyek
3. “Membantu peserta didik dalam merencanakan dan menyiapkan karya yang sesuai seperti laporan, model dan berbagi tugas dengan teman” merupakan penjabaran dari salah satu sintak model belajar berbasis masalah
 - A. orientasi peserta didik kepada masalah
 - B. membimbing penyelidikan individu dan kelompok
 - C. mengembangkan dan menyajikan hasil karya
 - D. menganalisa dan mengevaluasi proses pemecahan masalah
4. Diantara kompetensi dasar pembelajaran biologi yang kurang sesuai untuk dicapai melalui model problem based learning adalah....
 - A. Menerapkan prinsip klasifikasi untuk menggolongkan hewan ke dalam filum berdasarkan pengamatan anatomi dan morfologi serta mengaitkan peranannya dalam kehidupan.
 - B. Menganalisis informasi/data dari berbagai sumber tentang ekosistem dan semua interaksi yang berlangsung didalamnya.



- C. Menganalisis data perubahan lingkungan dan dampak dari perubahan perubahan tersebut bagi kehidupan.
 - D. Mengevaluasi pemahaman diri tentang bahaya penggunaan senyawa psikotropika dan dampaknya terhadap kesehatan diri, lingkungan dan masyarakat.
5. Pada model problem base learning guru memberi kesempatan kepada siswa untuk mengidentifikasi sebanyak mungkin masalah yang relevan dengan bahan pelajaran, kemudian salah satunya dipilih dan dirumuskan dalam bentuk hipotesis (jawaban sementara atas pertanyaan masalah). Kegiatan ini termasuk tahap....
- A. orientasi peserta didik kepada masalah
 - B. membimbing penyelidikan individu dan kelompok
 - C. mengembangkan dan menyajikan hasil karya
 - D. menganalisa dan mengevaluasi proses pemecahan masalah
6. Di antara kegiatan berikut ini kegiatan yang termasuk tahap verification pada model pada Discovery Learning adalah....
- A. peserta didik melakukan pemeriksaan secara cermat untuk membuktikan benar atau tidaknya hipotesis yang telah ditetapkan
 - B. proses menarik sebuah kesimpulan yang dapat dijadikan prinsip umum dan berlaku untuk semua kejadian atau masalah yang sama
 - C. kegiatan mengolah data dan informasi yang telah diperoleh baik melalui wawancara, observasi, dan sebagainya, lalu ditafsirkan
 - D. peserta didik melakukan eksperimen atau eksplorasi, sebanyak-banyaknya yang relevan untuk membuktikan benar atau tidaknya hipotesis.
7. Pada model discovery learning guru memberi kesempatan kepada siswa untuk mengidentifikasi sebanyak mungkin masalah yang relevan dengan bahan pelajaran, kemudian salah satunya dipilih dan dirumuskan dalam bentuk hipotesis (jawaban sementara atas pertanyaan masalah). Kegiatan ini termasuk tahap....



- A. *Stimulation*
 - B. *Verification*
 - C. *Data processing*
 - D. *Problem statement*
8. Diantara kompetensi dasar pembelajaran biologi yang kurang sesuai untuk dicapai melalui model discovery learning adalah....
- A. Menerapkan pemahaman tentang virus berkaitan dengan ciri, replikasi, dan peran virus dalam aspek kesehatan masyarakat.
 - B. Menerapkan konsep tentang keterkaitan hubungan antara struktur sel pada jaringan tumbuhan dengan fungsi organ pada tumbuhan berdasarkan hasil pengamatan.
 - C. Melakukan kampanye anti narkoba melalui berbagai bentuk media komunikasi baik di lingkungan sekolah maupun masyarakat.
 - D. Menerapkan prinsip klasifikasi untuk menggolongkan jamur berdasarkan ciri-ciri dan cara reproduksinya melalui pengamatan secara teliti dan sistematis.
9. Menciptakan Situasi (Stimulasi), Pembahasan Tugas dan Identifikasi Masalah Observasi, Pengumpulan Data, Pengolahan data dan Analisis, Verifikasi dan Generalisasi merupakan sintak dari model pembelajaran
- A. berbasis pemecahan masalah
 - B. berbasis penyingkapan/penelitian
 - C. berbasis pendekatan saintifik
 - D. berbasis proyek
10. Model pembelajaran yang sebaiknya direncanakan guru untuk memfasilitasi peserta didik dalam mencapai kompetensi berikut 3.3 “Menerapkan pemahaman tentang virus berkaitan dengan ciri, replikasi, dan peran virus dalam aspek kesehatan masyarakat.”. adalah....
- A. *Cooperative Learning*
 - B. *Discovery Learning*
 - C. *Problem Based Learning*
 - D. *Project Based Learning*



F. Rangkuman

Discovery mempunyai prinsip yang sama dengan inkuiri (*inquiry*) dan *Problem Solving*. Tidak ada perbedaan yang prinsipil pada ketiga istilah ini, pada *Discovery Learning* lebih menekankan pada ditemukannya konsep atau prinsip yang sebelumnya tidak diketahui, masalah yang diperhadapkan kepada siswa semacam masalah yang direkayasa oleh guru.

Discovery Learning bahan ajar tidak disajikan dalam bentuk akhir, siswa dituntut untuk melakukan berbagai kegiatan menghimpun informasi, membandingkan, mengkategorikan, menganalisis, mengintegrasikan, mereorganisasikan bahan serta membuat kesimpulan-kesimpulan.

Langkah-langkah pembelajaran *discovery learning* adalah 1) *Stimulation* (stimulasi/pemberian rangsangan); 2) *Problem statement* (pernyataan/ identifikasi masalah); 3) *Data collection* (pengumpulan data); 4) *Data processing* (pengolahan data); 5) *Verification* (pembuktian); dan 6) *Generalization* (menarik kesimpulan/generalisasi).

Pembelajaran berbasis masalah merupakan sebuah model pembelajaran yang menyajikan masalah kontekstual sehingga merangsang peserta didik untuk belajar. Dalam kelas yang menerapkan pembelajaran berbasis masalah, peserta didik bekerja dalam tim untuk memecahkan masalah dunia nyata (*real world*).

Lima strategi dalam menggunakan model pembelajaran berbasis masalah (PBL) yaitu: 1) Permasalahan sebagai kajian; 2). Permasalahan sebagai penjajakan pemahaman; 3). Permasalahan sebagai contoh; 4). Permasalahan sebagai bagian yang tak terpisahkan dari proses; 5) Permasalahan sebagai stimulus aktivitas autentik.

Tahap-tahap PBL meliputi: fase 1. orientasi peserta didik kepada masalah; fase 2. mengorganisasikan peserta didik; fase 3. membimbing penyelidikan individu dan kelompok; fase 4. mengembangkan dan menyajikan hasil karya; dan fase 5. menganalisa dan mengevaluasi proses pemecahan masalah.

Project Based Learning atau Pembelajaran Berbasis Proyek adalah model pembelajaran yang melibatkan siswa dalam suatu kegiatan (proyek) yang menghasilkan suatu produk. Model *Project-Based Learning* memiliki karakteristik diantaranya peserta didik mendesain proses untuk menentukan solusi atas



permasalahan atau tantangan yang diajukan, proses evaluasi dilakukan secara kontinyu dan produk akhir aktivitas belajar akan dievaluasi secara kualitatif.

Kelebihan model *Project-Based Learning* diantaranya adalah memberikan pengalaman kepada peserta didik pembelajaran dan praktik dalam mengorganisasi proyek, dan membuat alokasi waktu dan sumber-sumber lain seperti perlengkapan untuk menyelesaikan tugas. Tahap-tahap model *project-based learning* adalah sebagai berikut: 1) Penentuan Pertanyaan Mendasar, 2) Mendesain Perencanaan Proyek, 3) Menyusun Jadwal, 4) Memonitor peserta didik dan kemajuan proyek, 5) Menguji Hasil, dan 6) Mengevaluasi Pengalaman.

G. Umpan Balik Dan Tindak Lanjut

Setelah menyelesaikan soal dan latihan, Anda dapat memperkirakan tingkat keberhasilan Anda dengan melihat kunci/rambu-rambu jawaban yang terdapat pada bagian akhir modul ini. Jika Anda memperkirakan bahwa pencapaian Anda sudah melebihi 85%, silakan Anda terus mempelajari Kegiatan Pembelajaran berikutnya, namun jika Anda menganggap pencapaian Anda masih kurang dari 85%, sebaiknya Anda ulangi kembali kegiatan Pembelajaran ini.



KUNCI JAWABAN LATIHAN/TUGAS

KUNCI JAWABAN KEGIATAN PEMBELAJARAN: MODEL-MODEL PEMBELAJARAN DAN IMPLEMENTASINYA

A. Latihan/Kasus/Tugas

No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Kunci	C	A	C	A	A	D	A	C	B	C



EVALUASI

1. Model-model pembeajaran memiliki karakteristik yang berbeda-beda. Berikut ini merupakan karakteristik model *project based learning*, kecuali ...
 - A. peserta didik membuat keputusan tentang sebuah kerangka kerja;
 - B. peserta didik mendesain proses untuk menentukan solusi atas permasalahan atau tantangan yang diajukan;
 - C. peserta didik secara kolaboratif bertanggungjawab untuk mengakses dan mengelola informasi untuk memecahkan permasalahan;
 - D. membuat peserta didik menjadi lebih aktif dan berhasil memecahkan problem-problem yang kompleks

2. Pada RPP seorang guru terdapat langkah kegiatan: Peserta membuat aturan kapan kegiatan penyelesaian proyek, tempat melakukan tugas proyek, bahan yang diperlukan dan benda-benda yang akan didesain, dibuat dan waktu membuat laporan proyek. Langkah kegiatan tersebut pada model pembelajaran berbasis proyek merupakan kegiatan pada tahap....
 - A. mendesain perencanaan proyek
 - B. penentuan pertanyaan mendasar
 - C. mengevaluasi pengalaman
 - D. menyusun jadwal

3. Berikut ini kegiatan yang termasuk sintak model *Project Based Learning*
 - i. membimbing orientasi peserta didik kepada masalah
 - ii. membuat timeline untuk menyelesaikan proyek,
 - iii. mengembangkan dan menyajikan hasil karya
 - iv. membuat deadline penyelesaian proyek,



- A. i dan ii
 - B. i dan iii
 - C. ii dan iv
 - D. iii dan iv
4. Tahap-tahap model *project based learning* meliputi penentuan pertanyaan mendasar, mendesain perencanaan proyek, menyusun jadwal, memonitor peserta didik dan kemajuan proyek, menguji hasil, dan mengevaluasi pengalaman. Pada saat peserta didik melaksanakan tugas proyek sesuai rancangan kegiatan kegiatan guru berdasarkan tahap-tahap model *project based learning* adalah....
- A. mendesain perencanaan proyek
 - B. memonitor peserta didik dan kemajuan proyek
 - C. menguji hasil
 - D. mengevaluasi pengalaman
5. Diantara kompetensi dasar pembelajaran biologi yang *kurang sesuai* untuk dicapai melalui pembelajaran berbasis proyek adalah....
- A. Mengajukan ide/gagasan tentang penggunaan hormon pertumbuhan yang tepat untuk menentukan pertumbuhan dan perkembangan tanaman.
 - B. Merancang, melakukan, dan menyimpulkan serta menyajikan hasil percobaan untuk mengetahui sifat kerja enzim.
 - C. Merancang, melakukan, dan menyimpulkan serta menyajikan hasil percobaan faktor-faktor yang mempengaruhi pertumbuhan dan perkembangan pada tumbuhan
 - D. Mengajukan ide/gagasan untuk mencegah dan mengatasi terjadinya abrasi pada pesisir pantai

PENUTUP

Modul Pedagogik Guru Pembelajar Mata Pelajaran Biologi KK D yang berjudul Model Pembelajaran disiapkan untuk guru pada kegiatan Guru Pembelajar ini baik secara mandiri maupun tatap muka di lembaga pelatihan atau di MGMP. Materi modul disusun sesuai dengan kompetensi pedagogik yang harus dicapai guru pada KK D. Guru dapat belajar dan melakukan kegiatan ini sesuai dengan rambu-rambu/instruksi yang tertera pada modul baik berupa diskusi materi, latihan dan sebagainya. Modul ini juga mengarahkan dan membimbing peserta dan para widyaiswara/fasilitator untuk menciptakan proses kolaborasi belajar dan berlatih dalam pelaksanaan kegiatan Guru Pembelajar ini

Untuk pencapaian kompetensi pada KK D ini, guru diharapkan secara aktif menggali informasi, memecahkan masalah dan berlatih soal-soal evaluasi yang tersedia pada modul.

Isi modul ini masih dalam penyempurnaan, masukan-masukan atau perbaikan terhadap isi modul sangat kami harapkan.



DAFTAR PUSTAKA

- Budiningsih, Asri. 2008. *Belajar dan Pembelajaran*. Jakarta: PT Rineka Cipta.
- Campbell, N.A., dkk.. 2009. *Biology 8th Edition*. San Francisco: Benjamin Cummings.
- DePorter, B., Reardon, M., Nouri, S.S.. 2001. *Quantum Teaching*. Bandung: Kaifa.
- Depdiknas. 2010. *Petunjuk Teknis Pengembangan Bahan Ajar SMA*. Jakarta: Depdiknas.
- Departemen Pendidikan Nasional. 2008. *Administrasi dan Pengelolaan Sekolah*. Jakarta: Direktorat Tenaga Kependidikan.
- Djamarah., B.. 2006. *Strategi Belajar Mengajar*. Jakarta: Rineka Cipta.
- Kemdikbud. 2014. Permendikbud No. 59 Tahun 2014 tentang Kurikulum 2013 Sekolah Menengah Atas/Madrasah Aliyah. Jakarta: Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan.
- Kemdikbud. 2013. Permendikbud 64 tahun 2013 tentang Standar Isi Pendidikan Dasar dan Menengah. Jakarta: Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan.
- Kemdikbud. 2014. Permendikbud No. 103 Tahun 2014 tentang Pembelajaran pada Dikdasmen. Jakarta: Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan.
- Kemdiknas. 2007. Permendikas No. 16 tentang Standar Kualifikasi Akademik dan Kompetensi Guru. Jakarta: Kementerian Pendidikan Nasional.
- Kimball, J.W.. 1995. *Biologi Jilid 2*. Bandung: Erlangga.
- Kunandar. 2007. *Guru Profesional Implementasi Kurikulum Tingkat Satuan Pendidikan (KTSP) dan Sukses dalam Sertifikat Guru*. Jakarta: Rajawali Press.
- Mohammad Syarif. 2015. Modul Pelatihan Implementasi Kurikulum 2013. Mata Pelajaran Biologi Tahun 2015. Pusbangprodik, Jakarta: Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan
- Sumiati & Asra. 2009. *Metode Pembelajaran*. Bandung: CV Wacana Prima.



GLOSARIUM

- Indikator : Tanda-tanda yang dapat memberikan (menjadi) petunjuk atau keterangan tentang ketercapaian tujuan pembelajaran
- Kompetensi : Kemampuan guru untuk melaksanakan tugas pembelajaran dan pendidikan. Kompetensi dapat pula diartikan sebagai pengetahuan, keterampilan, dan nilai-nilai dasar yang direfleksikan dalam kebiasaan berpikir dan bertindak
- (competence=cakap, berkuasa memutuskan, atau berwewenang)
- Kompetensi dasar : Kemampuan minimal dalam mata pelajaran yang harus dimiliki oleh lulusan; kemampuan minimum yang harus dapat dilakukan atau ditampilkan oleh siswa untuk standar kompetensi tertentu dari suatu mata pelajaran
- LKS : Lembar Kerja Siswa; suatu panduan belajar yang berisi petunjuk kerja, tugas-tugas atau pertanyaan yang harus dikerjakan siswa
- Metode pembelajaran : Cara yang digunakan untuk mencapai tujuan pembelajaran berdasarkan pendekatan yang telah ditentukan
- Observasi pembelajaran : Kegiatan mengamati proses atau kegiatan pembelajaran (belajar-mengajar) mulai dari pelajaran dibuka sampai diakhir oleh guru
- Pembelajaran : Proses, cara, perbuatan menjadikan orang belajar. Istilah pembelajaran lebih banyak dipakai berkaitan dengan pandangan/filosofi konstruktivistik dalam sistem pendidikan di Indonesia, yang intinya dalam kegiatan



belajar mengajar guru harus menempatkan siswa sebagai subyek dalam belajar. Artinya guru harus mengkondisikan dan mendorong siswa agar dapat belajar sesuatu dengan fasilitas yang telah disiapkan. Dalam konteks ini tidak tepat lagi menggunakan istilah "guru mengajar siswa" tetapi "guru membelajarkan siswa".

- Pendekatan pembelajaran : Ide yang mendasari proses pembentukan atau pengembangan pengetahuan siswa untuk mencapai sasaran pembelajaran/pendidikan
- Pengalaman belajar : Menunjukkan aktivitas belajar yang dilakukan siswa melalui interaksi siswa dengan objek atau sumber belajar. Pengalaman belajar dapat dipilih sesuai dengan kompetensinya, dapat diperoleh di dalam kelas dan di luar kelas. Bentuknya dapat berupa kegiatan mendemonstrasikan, mempraktikkan, mensimulasikan, mengadakan eksperimen, menganalisis, mengaplikasikan, menemukan, mengamati, meneliti, menelaah
- RPP : Rencana Pelaksanaan Pembelajaran, suatu panduan yang berisi rencana langkah-langkah pembelajaran yang akan dilakukan oleh guru bersama siswa
- Strategi pembelajaran : Usaha untuk mendayagunakan metode-metode pembelajaran yang telah dipilih untuk mencapai target pembelajaran secara efektif
- Sumber belajar : Semua bahan (cetak/tulis, softdocument, video, kaset, dsb.) yang dapat digunakan sebagai sumber informasi atau sarana untuk mempeleajari sesuatu konsep oleh siswa atau peserta didik



**Pusat Pengembangan dan Pemberdayaan Pendidik
dan Tenaga Kependidikan Ilmu Pengetahuan Alam (PPPPTK IPA)**
DIREKTORAT JENDERAL GURU DAN TENAGA KEPENDIDIKAN
KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
TAHUN 2016

MODUL GURU PEMBELAJAR

MATA PELAJARAN BIOLOGI
SEKOLAH MENENGAH ATAS (SMA)

KELOMPOK KOMPETENSI D

SISTEM EKSKRESI, ENZIM DAN EVOLUSI

Penulis:

Eka Danti Agustiani, M.Si., dkk.



**Pusat Pengembangan dan Pemberdayaan Pendidik
dan Tenaga Kependidikan Ilmu Pengetahuan Alam (PPPPTK IPA)**
DIREKTORAT JENDERAL GURU DAN TENAGA KEPENDIDIKAN
KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
TAHUN 2016

MODUL GURU PEMBELAJAR

MATA PELAJARAN BIOLOGI
SEKOLAH MENENGAH ATAS (SMA)

KELOMPOK KOMPETENSI D

SISTEM EKSKRESI, ENZIM DAN
EVOLUSI

Penulis:

Eka Danti Agustiani, M.Si., dkk.



**Pusat Pengembangan dan Pemberdayaan Pendidik
dan Tenaga Kependidikan Ilmu Pengetahuan Alam (PPPPTK IPA)**
DIREKTORAT JENDERAL GURU DAN TENAGA KEPENDIDIKAN
KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
TAHUN 2016

MODUL GURU PEMBELAJAR

MATA PELAJARAN BIOLOGI
SEKOLAH MENENGAH ATAS (SMA)

KELOMPOK KOMPETENSI D

SISTEM EKSKRESI, ENZIM DAN EVOLUSI

Penanggung Jawab

Dr. Sediono Abdullah

Penulis

Eka Danti Agustiani, M.Si.

022-4231191 kadantiani@gmail.com

Asep Agus Sulaeman, M.Si.

022-4231191 agus_p3g@yahoo.com

Dr. Yeni Hendriani, M.Si.

022-4231191 ynsedc@yahoo.co.id

Penyunting

Dr. Dedi Herawadi

Penelaah

Dr. Riandi

Dr. Sri Anggraeni, M.Si.

Dr. Soni Suhandono

Dra. Tati Hermawati, M.Si.

Drs. Triastono Imam P., M.Pd.

Penata Letak

Octy Viali Zahara, S.Pd.

Copyright ©2016

Pusat Pengembangan dan Pemberdayaan Pendidik dan Tenaga Kependidikan

Ilmu Pengetahuan Alam (PPPPTK IPA)

Direktorat Jenderal Guru dan Tenaga Kependidikan

Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

Dilarang menggandakan sebagian atau keseluruhan isi buku ini untuk kepentingan komersial tanpa izin tertulis dari Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan

KATA SAMBUTAN

Peran guru profesional dalam proses pembelajaran sangat penting sebagai kunci keberhasilan belajar siswa. Guru profesional adalah guru yang kompeten membangun proses pembelajaran yang baik sehingga dapat menghasilkan pendidikan yang berkualitas. Hal tersebut menjadikan guru sebagai komponen yang menjadi fokus perhatian pemerintah pusat maupun pemerintah daerah dalam peningkatan mutu pendidikan terutama menyangkut kompetensi guru.

Pengembangan profesionalitas guru melalui program Guru Pembelajar merupakan upaya peningkatan kompetensi untuk semua guru. Sejalan dengan hal tersebut, pemetaan kompetensi guru telah dilakukan melalui uji kompetensi guru (UKG) untuk kompetensi pedagogi dan profesional pada akhir tahun 2015. Hasil UKG menunjukkan peta kekuatan dan kelemahan kompetensi guru dalam penguasaan pengetahuan. Peta kompetensi guru tersebut dikelompokkan menjadi 10 (sepuluh) kelompok kompetensi. Tindak lanjut pelaksanaan UKG diwujudkan dalam bentuk pelatihan guru paska UKG melalui program Guru Pembelajar. Tujuannya untuk meningkatkan kompetensi guru sebagai agen perubahan dan sumber belajar utama bagi peserta didik. Program Guru Pembelajar dilaksanakan melalui pola tatap muka, dalam jaringan atau daring (*online*), dan campuran (*blended*) tatap muka dengan online.

Pusat Pengembangan dan Pemberdayaan Pendidik dan Tenaga Kependidikan (PPPPTK), Lembaga Pengembangan dan Pemberdayaan Pendidik dan Tenaga Kependidikan Kelautan dan Perikanan Teknologi Informasi dan Komunikasi (LP3TK KPTK), dan Lembaga Pengembangan dan Pemberdayaan Kepala Sekolah (LP2KS) merupakan Unit Pelaksana Teknis di lingkungan Direktorat Jenderal Guru dan Tenaga Kependidikan yang bertanggung jawab dalam mengembangkan perangkat dan melaksanakan peningkatan kompetensi guru sesuai bidangnya. Adapun perangkat pembelajaran yang dikembangkan tersebut



adalah modul untuk program Guru Pembelajar tatap muka dan Guru Pembelajar online untuk semua mata pelajaran dan kelompok kompetensi. Dengan modul ini diharapkan program Guru Pembelajar memberikan sumbangan yang sangat besar dalam peningkatan kualitas kompetensi guru.

Mari kita sukseskan program Guru Pembelajar ini untuk mewujudkan “Guru Mulia Karena Karya.”

Jakarta, Februari 2016

Direktur Jenderal

Guru dan Tenaga Kependidikan

Sumarna Surapranata, Ph.D.

NIP. 195908011985031002

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kami panjatkan ke hadirat Allah SWT atas selesainya Modul Guru Pembelajar Mata Pelajaran IPA SMP, Fisika SMA, Kimia SMA dan Biologi SMA. Modul ini merupakan model bahan belajar (*learning material*) yang dapat digunakan guru untuk belajar lebih mandiri dan aktif.

Modul Guru Pembelajar disusun dalam rangka fasilitasi program peningkatan kompetensi guru paska UKG yang telah diselenggarakan oleh Direktorat Jenderal Guru dan Tenaga Kependidikan. Materi modul dikembangkan berdasarkan Standar Kompetensi Guru sesuai Peraturan Menteri Pendidikan Nasional nomor 16 Tahun 2007 tentang Standar Kualifikasi Akademik dan Kompetensi Guru yang dijabarkan menjadi Indikator Pencapaian Kompetensi Guru.

Modul Guru Pembelajar untuk masing-masing mata pelajaran dijabarkan ke dalam 10 (sepuluh) kelompok kompetensi. Materi pada masing-masing modul kelompok kompetensi berisi materi kompetensi pedagogi dan kompetensi profesional guru mata pelajaran, uraian materi, tugas, dan kegiatan pembelajaran, serta diakhiri dengan evaluasi dan uji diri untuk mengetahui ketuntasan belajar. Bahan pengayaan dan pendalaman materi dimasukkan pada beberapa modul untuk mengakomodasi perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi serta kegunaan dan aplikasinya dalam pembelajaran maupun kehidupan sehari-hari.

Modul ini telah ditelaah dan direvisi oleh tim, baik internal maupun eksternal (praktisi, pakar, dan para pengguna). Namun demikian, kami masih berharap kepada para penelaah dan pengguna untuk selalu memberikan masukan dan penyempurnaan sesuai kebutuhan dan perkembangan ilmu pengetahuan teknologi terkini.

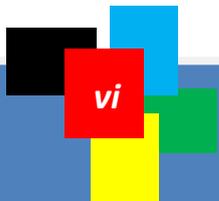


Besar harapan kami kiranya kritik, saran, dan masukan untuk lebih menyempurnakan isi materi serta sistematika modul dapat disampaikan ke PPPPTK IPA untuk perbaikan edisi yang akan datang. Masukan-masukan dapat dikirimkan melalui email para penyusun modul atau ke: p4tkipa@yahoo.com.

Akhirnya kami menyampaikan penghargaan dan terima kasih kepada para pengarah dari jajaran Direktorat Jenderal Guru dan Tenaga Kependidikan, Manajemen, Widyaiswara, Staf PPPPTK IPA, Dosen, Guru, dan Kepala Sekolah serta Pengawas Sekolah yang telah berpartisipasi dalam penyelesaian modul ini. Semoga peran serta dan kontribusi Bapak dan Ibu semuanya dapat memberikan nilai tambah dan manfaat dalam peningkatan kompetensi guru IPA di Indonesia.

Bandung, April 2016
Kepala PPPPTK IPA,

Dr. Sediono, M.Si.
NIP. 195909021983031002





DAFTAR ISI

	Hal
KATA SAMBUTAN	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR GAMBAR	ix
PENDAHULUAN	
	1
A. Latar Belakang	1
B. Tujuan	2
C. Peta Kompetensi	2
D. Ruang Lingkup	3
E. Cara Penggunaan Modul	3
KEGIATAN PEMBELAJARAN	
I. SISTEM EKSKRESI MANUSIA	5
A. Tujuan	5
B. Indikator Ketercapaian Kompetensi	5
C. Uraian Materi	6
D. Aktivitas Pembelajaran	23
E. Latihan/Kasus/Tugas	27
F. Rangkuman	27
G. Umpan Balik	29
II. ENZIM	31
A. Tujuan	31
B. Indikator Ketercapaian Kompetensi	31
C. Uraian Materi	32
D. Aktivitas Pembelajaran	44
E. Latihan/Kasus/Tugas	44
F. Rangkuman	46
G. Umpan Balik dan Tindak Lanjut	47

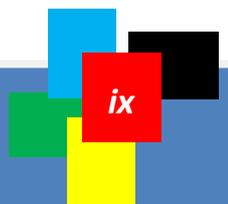


III.	EVOLUSI	49
	A. Tujuan	50
	B. Indikator Ketercapaian Kompetensi	50
	C. Uraian Materi	50
	D. Aktivitas Pembelajaran	84
	E. Latihan/Kasus/Tugas	89
	F. Rangkuman	91
	G. Umpan Balik dan Tindak Lanjut	91
KUNCI JAWABAN LATIHAN/KASUS/TUGAS		93
EVALUASI		97
PENUTUP		103
DAFTAR PUSTAKA		105
GLOSARIUM		107



DAFTAR TABEL

		Hal
Tabel 3.1	Hubungan Waktu Geologis dengan Keanekaragaman Organisme	53



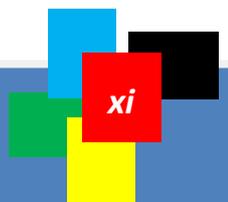


DAFTAR GAMBAR

		Hal
Gambar 1	Diagram cara penggunaan modul	4
Gambar 1.1	Ilustrasi peristiwa osmosis	7
Gambar 1.2	Ilustrasi peristiwa difusi	8
Gambar 1.3	Struktur anatomi ginjal manusia	10
Gambar 1.4	Satu unit nefron tampak pada penampang membujur ginjal	11
Gambar 1.5	Mekanisme pembentukan urin pada ginjal	13
Gambar 1.6	Lapisan-lapisan kulit manusia	14
Gambar 1.7	Ilustrasi paru-paru manusia	16
Gambar 1.8	Deskripsi sederhana proses hemodialisis	18
Gambar 1.9	Ilustrasi seseorang yang sedang menjalani proses dialisis buatan (hemodialisis)	20
Gambar 1.10	Posisi ginjal cangkakan pada tubuh pasien penerimanya	21
Gambar 2.1	Ilustrasi Anabolisme dan Katabolisme	32
Gambar 2.2	Kerja enzim menurut teori gembok dan kunci	35
Gambar 2.3	Grafik pengaruh suhu terhadap Aktivitas Enzim	39
Gambar 2.4	Grafik pengaruh pH terhadap Aktivitas Enzim	40
Gambar 2.5	Grafik pengaruh Hubungan laju reaksi dengan konsentrasi enzim	40
Gambar 3.1	Pertumbuhan Populasi Manusia (dalam hitungan miliar orang)	56



Gambar 3.2	Leher Jerapah	57
Gambar 3.3	Pembentukan Lembah	58
Gambar 3.4	Jenis burung Finch di Galapagos	59
Gambar 3.5	Merpati pos (bawah kiri) dan Brunner pouter (bawah kanan) berasal dari merpati batu karang yang liar (atas)	61
Gambar 3.6	Cara seleksi alam dalam mempengaruhi penurunan frekuensi suatu sifat	67
Gambar 3.7	Bayi Mammoth yang terperangkap dalam es, diperkirakan hidup 22.000 tahun yang lalu.	71
Gambar 3.8	(a) Mineral menggantikan material tumbuhan untuk membentuk kayu yang membatu; (b) serangga terjat di dalam getah pohon, yang kemudian mengeras ke dalam batu amber	72
Gambar 3.9	Homologi pada daun	73
Gambar 3.10	“Dewclaws” organ vestigial pada beberapa hewan	74
Gambar 3.11	Karakter-karakter yang ditunjukkan oleh embrio mungkin menguraikan pola hubungan di antara garis keturunan.	75



PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Guru saat ini menjadi sebuah profesi yang menuntut pelakunya untuk terus belajar dan mengembangkan diri. Tidak hanya menjadi tuntutan profesi, akan tetapi juga tuntutan dari peraturan menteri Pendidikan agar profesi guru menjalankan kegiatan pengembangan keprofesian secara berkelanjutan agar dapat melaksanakan tugas profesionalnya. Modul Diklat Guru Pembelajara (GP) pada intinya merupakan model bahan belajar (*learning material*) yang menuntut peserta pelatihan untuk belajar lebih mandiri dan aktif. Untuk membantu guru meningkatkan kompetensi profesional dan pedagogik disusun modul diklat GP yang terbagi atas 10 Kelompok Kompetensi (KK).

Modul ini merupakan Modul Diklat GP KK D yang digunakan pada diklat GP KK D. Modul ini dapat digunakan dengan baik pada diklat tatap muka maupun diklat *on line*. Selain terdapat pembahasan materi pedagogi di setiap modul, terdapat pula materi profesional yang membidik kompetensi profesional guru. Modul KK D bagi guru Biologi berisi beberapa materi bahasan standar kompetensi guru (SKG) yang telah ditetapkan di dalam pemetaan standar kompetensi guru biologi. Materi profesional dalam modul ini antara lain adalah Sistem Eksresi, Enzim, dan Evolusi. Setiap materi diklat ini dikemas dalam suatu kegiatan pembelajaran yang meliputi: Tujuan, Indikator Pencapaian Kompetensi, Uraian Materi, Aktivitas Pembelajaran, Latihan/Kasus/Tugas, Rangkuman, Umpan Balik dan Tindak Lanjut dan Kunci Jawaban.



B. Tujuan

Setelah melaksanakan pembelajaran dalam modul ini, peserta diklat diharapkan dapat :

1. Memahami konsep adanya pengaturan keseimbangan kadar air dalam tubuh makhluk hidup melalui sistem ekskresi.
2. meningkatkan keterampilan guru dalam melakukan praktik untuk menentukan faktor-faktor yang mempengaruhi kerja enzim.
3. Mendeskripsikan teori dan prinsip Evolusi.
4. Menganalisis mekanisme dan bukti evolusi berdasarkan studi literatur.
5. Memahami kesalahpahaman yang terjadi dalam Teori Evolusi.

C. Peta Kompetensi

Kompetensi Inti dan Kompetensi Guru Mata Pelajaran yang diharapkan setelah guru peserta diklat belajar dengan modul ini tercantum pada tabel 1 berikut:

Tabel 1. Kompetensi Inti dan Kompetensi Guru

Kompetensi Guru Mata Pelajaran	Indikator Pencapaian Kompetensi
20.1. Memahami konsep-konsep, hukum-hukum, dan teori-teori biologi serta penerapannya secara fleksibel.	1. Menjelaskan osmoregulasi dalam sistem ekskresi manusia 2. Menjelaskan konsep metabolisme, 3. Menjelaskan struktur enzim, 4. Mengaitkan peran enzim dalam proses metabolisme, dan
20.2. Memahami proses berpikir biologi dalam mempelajari proses dan gejala alam.	5. Menjelaskan pengertian evolusi. 6. Membandingkan konsep teori evolusi mulai jaman Pra-Darwinisme, jaman Darwinisme, dan jaman Post-Darwinisme 7. Menjelaskan prinsip-prinsip evolusi. 8. Membandingkan mekanisme evolusi yang disebabkan oleh seleksi alam, hanjutan genetik (<i>Genetic Drift</i>), aliran gen (<i>gene flow</i>), mutasi, dan perkawinan tidak acak. 9. Mengidentifikasi bukti-bukti evolusi mulai dari sisa



	<p>organisme masa lampau sampai dengan genetika modern.</p> <p>10. Menjelaskan beberapa kesalahan pemahaman yang terjadi dalam teori Evolusi.</p>
--	---

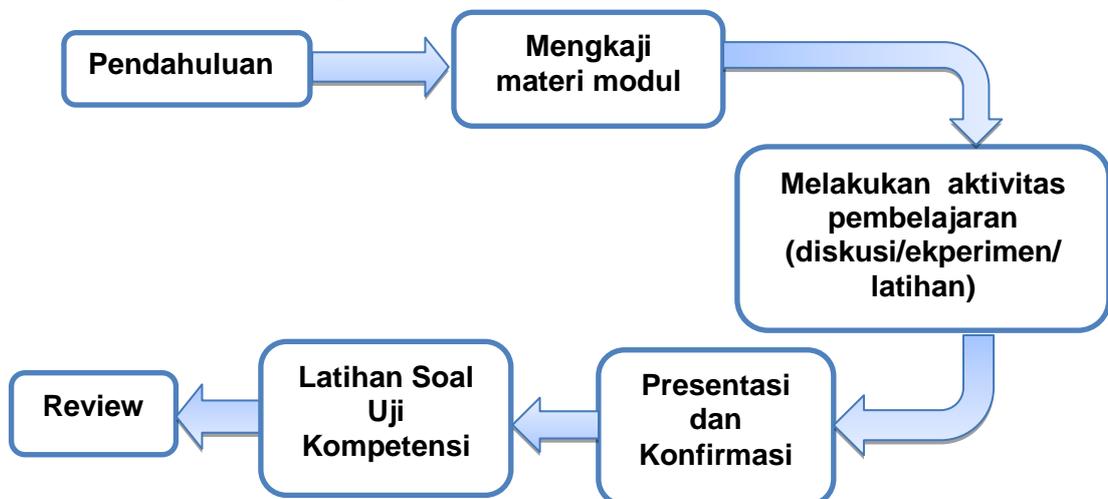
D. Ruang Lingkup

Ruang lingkup materi pada modul ini disusun dalam empat bagian, yaitu bagian Pendahuluan, Kegiatan Pembelajaran, Evaluasi dan Penutup. Bagian pendahuluan berisi paparan tentang latar belakang modul kelompok kompetensi D, tujuan belajar, kompetensi guru yang diharapkan dicapai setelah pembelajaran, ruang lingkup dan saran penggunaan modul. Bagian kegiatan pembelajaran berisi Tujuan, Indikator Pencapaian Kompetensi, Uraian Materi, Aktivitas Pembelajaran, Latihan/Kasus/Tugas, Rangkuman, Umpan Balik dan Tindak Lanjut. Bagian akhir terdiri dari Kunci Jawaban Latihan/Kasus/Tugas, Evaluasi dan Penutup. Rincian materi pada modul adalah sebagai berikut:

1. Sistem Eksresi
2. Enzim
3. Evolusi

E. Cara Penggunaan Modul

Cara penggunaan modul pada setiap Kegiatan Pembelajaran secara umum sesuai dengan skenario setiap penyajian mata diklat. Langkah-langkah belajar secara umum adalah sebagai berikut.



Gambar 1. Bagan cara penggunaan modul



Deskripsi Kegiatan

1. Pendahuluan

Pada kegiatan pendahuluan fasilitator memberi kesempatan kepada peserta diklat untuk mempelajari:

- a. latar belakang yang memuat gambaran materi diklat.
- b. tujuan penyusunan modul mencakup tujuan semua kegiatan pembelajaran setiap materi diklat.
- c. kompetensi atau indikator yang akan dicapai atau ditingkatkan melalui modul.
- d. ruang lingkup materi kegiatan pembelajaran.
- e. langkah-langkah penggunaan modul.

2. Mengkaji materi diklat

Pada kegiatan ini fasilitator memberi kesempatan kepada peserta diklat untuk mempelajari materi diklat yang diuraikan secara singkat sesuai dengan indikator pencapaian hasil belajar. Peserta dapat mempelajari materi secara individual atau kelompok.

3. Melakukan aktivitas pembelajaran

Pada kegiatan ini peserta melakukan kegiatan pembelajaran sesuai dengan rambu-rambu/instruksi yang tertera pada modul baik berupa diskusi materi, melakukan eksperimen, latihan dan sebagainya. Pada kegiatan ini peserta secara aktif menggali informasi, mengumpulkan data dan mengolah data sampai membuat kesimpulan kegiatan.

4. Presentasi dan Konfirmasi

Pada kegiatan ini peserta melakukan presentasi hasil kegiatan sedangkan fasilitator melakukan konfirmasi terhadap materi dibahas bersama.

5. Review Kegiatan

Pada kegiatan ini peserta dan penyaji mereview materi.

KEGIATAN PEMBELAJARAN 1: SISTEM EKSKRESI MANUSIA

A. Tujuan

Kegiatan dalam pembelajaran ini bertujuan untuk membekali peserta diklat agar :

1. Menjelaskan konsep adanya pengaturan keseimbangan kadar air dalam tubuh makhluk hidup melalui sistem ekskresi.
2. Menjelaskan konsep mekanisme kerja ginjal dalam sistem ekskresi dalam pembelajaran.
3. Menjelaskan konsep kulit sebagai alat ekskresi dan dapat menyebutkan beberapa penyakit yang mengganggu kerja organ kulit.
4. Menjelaskan konsep paru-paru sebagai alat ekskresi dan dapat menyebutkan beberapa penyakit yang mengganggu kerja organ paru-paru.
5. Menjelaskan konsep dialisis buatan dan pencangkokan ginjal sebagai alternatif upaya penanggulangan gangguan atau kelainan dalam sistem ekskresi manusia.

B. Indikator Ketercapaian Kompetensi

1. Mengidentifikasi adanya osmoregulasi dalam sistem ekskresi manusia.
2. Mendeskripsikan mekanisme kerja ginjal dalam sistem ekskresi.
3. Menjelaskan beberapa penyakit yang dapat mengganggu kerja ginjal.
4. Dapat menjelaskan mekanisme kerja paru-paru sebagai salah satu organ ekskresi pada manusia.
5. Menjelaskan contoh-contoh penanggulangan gangguan atau kelainan dalam sistem ekskresi manusia, yaitu dialisis buatan dan pencangkokan ginjal.



C. Uraian Materi

1. Osmoregulasi Dalam Sistem Ekskresi Manusia

Manakah yang lebih terasa berat bagi kita, menahan haus atau menahan lapar? Tahukah kita, bahwa berdasarkan penelitian manusia sehat bisa bertahan hidup tanpa makanan sama sekali rata-rata hingga 50 hari, sementara bila tanpa air hanya tiga hari? Disadari maupun tidak, kita dihadapkan pada fakta bahwa air adalah sesuatu yang sangat penting bagi tubuh kita. Air dibutuhkan oleh semua makhluk hidup dari segala golongan yang berada di habitat darat maupun air.

Tubuh makhluk hidup memiliki kandungan air sekitar 70%. Hal ini tidaklah mengherankan karena air memiliki berbagai peran berperan, antara lain sebagai penyusun komponen pembangun sel, pengisi ruang antar sel dan jaringan, pelarut maupun pengikat berbagai zat organik dan anorganik dan pengatur suhu tubuh. Dalam tubuh makhluk hidup, keberadaan air diatur keseimbangannya dalam sebuah sistem kendali yang disebut sebagai **osmoregulasi**.

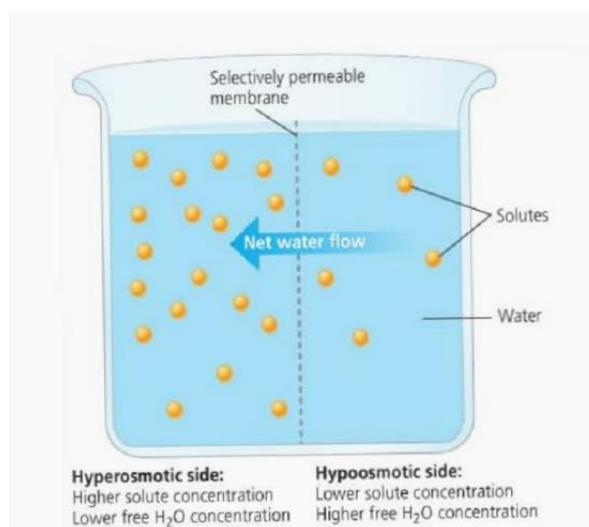
Osmosis, Tekanan Osmotik dan Difusi

Air diperoleh oleh tubuh manusia terutama melalui proses minum dan makan. Manusia disarankan untuk mengkonsumsi air tidak kurang dari satu liter per hari. Walaupun proses masuknya air melalui saluran pencernaan, namun kebutuhan yang sebenarnya ada pada tingkat selular. Pemasukan dan pengeluaran air juga dikontrol oleh tubuh hingga di tingkat selular. Keluar masuknya air dari sel dan jaringan tubuh terjadi melalui mekanisme **osmosis**, karena adanya perbedaan **tekanan osmotik**. Bagian yang bersifat selektif permeabel dari membran sel akan memungkinkan zat-zat terlarut tertentu keluar masuk sel bersama air sebagai pelarutnya. Zat-zat kimia yang terlarut dalam air akan keluar masuk dan tersebar di tingkat seluler dan jaringan melalui peristiwa **difusi**.

Osmosis adalah perpindahan air sebagai pelarut, dari bagian yang lebih sedikit zat terlarutnya (hipotonis) ke bagian yang lebih banyak zat terlarutnya (hipertonis) melalui **selaput (membran) semipermeabel** (Gambar 1.1.). Membran semipermeabel adalah selaput yang memiliki pori-pori tembus air, namun tidak tembus zat terlarut. Selaput pembungkus sel makhluk hidup bersifat semipermeabel. Dengan demikian sel hidup dapat menyerap air bila ia terpapar



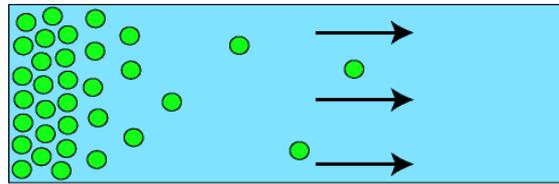
pada lingkungan yang memiliki zat terlarut lebih sedikit (lebih encer) daripada zat terlarut dalam cairan selnya. Dengan demikian terjadi osmosis air dari lingkungan ke dalam sel. Sebaliknya, bila sel terpapar pada lingkungan dengan kondisi zat terlarut lebih tinggi (lebih pekat) daripada cairan dalam sel, maka akan terjadi osmosis air dari dalam ke luar sel.



Gambar 1.1. Ilustrasi peristiwa osmosis

Tekanan osmotik adalah tekanan yang diberikan oleh suatu larutan untuk menghentikan perpindahan pelarut melalui membran semipermeabel. Berdasarkan definisi tersebut, maka larutan atau cairan dengan konsentrasi zat terlarut tinggi (cairan pekat) memiliki tekanan osmotik yang lebih tinggi daripada larutan dengan zat terlarut sedikit (cairan encer). Adanya perbedaan tekanan osmotik itulah yang menyebabkan terjadinya peristiwa osmosis.

Difusi adalah peristiwa perpindahan zat terlarut dari larutan dengan konsentrasi tinggi menuju larutan dengan konsentrasi rendah (Gambar 1.2.). Difusi dapat terjadi melalui membran semipermeabel maupun tidak melalui membran apapun. Dalam tubuh makhluk hidup, difusi sangat penting bagi distribusi zat-zat yang diperlukan maupun pengeluaran zat-zat sampah yang akan dibuang dari tubuh.



Konsentrasi tinggi → Konsentrasi rendah



Zat terlarut

Arah pergerakan zat terlarut dari kiri ke kanan;

Pergerakan zat terlarut karena gradien konsentrasi (dC/dx)

Gambar 1. 2. Ilustrasi peristiwa difusi

Osmoregulasi dalam Sistem Ekskresi Manusia

Kelangsungan hidup organisme bergantung pada reaksi-reaksi metabolik yang terjadi di dalam tubuh. Agar reaksi metabolik berlangsung dengan baik, diperlukan keseimbangan yang tepat antara air dan zat-zat yang terlarut. Di dalam cairan tubuh terdapat zat-zat terlarut air yang harus dipertahankan konsentrasinya yaitu berbagai asam amino, protein, dan ion-ion terlarut seperti sodium (Na^+), klorida (Cl^-), potasium (K^+), Kalsium (Ca^{2+}), serta bikarbonat (HCO_3^-). Dalam hal ini fenomena osmosis sangat berperan. Sel-sel tubuh tidak akan mampu bertahan jika terlalu banyak air yang masuk atau yang keluar. Sel tubuh akan pecah jika terlalu banyak air yang masuk, dan akan mengkerut/keriput akhirnya mati jika kehilangan air.

Osmoregulasi adalah kemampuan makhluk hidup mengendalikan kelebihan atau kekurangan air berikut zat-zat terlarut di dalam cairan tubuhnya. Manusia sebagai hidup yang tentunya memiliki kemampuan osmoregulasi disebut sebagai **osmoregulator**. Sebagai organisme yang hidup di darat, manusia memperoleh air paling banyak dari makanan dan minuman. Manusia kehilangan air melalui pengeluaran air seni dan tinja. Manusia juga kehilangan air melalui penguapan sewaktu bernapas dan mengeluarkan keringat. Peristiwa pengeluaran air seni, pengeluaran uap air pada pernapasan dan pengeluaran keringat merupakan mekanisme sistem ekskresi manusia.

Ekskresi adalah pengeluaran atau pembuangan ampas hasil metabolisme yang tidak dibutuhkan oleh tubuh. Keseimbangan cairan setelah pengeluaran air bersama zat sisa pada oleh sistem ekskresi harus dikontrol melalui



osmoregulasi. Osmoregulasi juga berperan penting dalam setiap proses transfer zat antar sel yang menggunakan air sebagai pelarut. Transfer zat tersebut antara lain terjadi dalam proses ekskresi, yaitu sistem pembuangan sisa metabolisme tubuh melalui ginjal, hati, kulit dan alat pernapasan. Oleh karena itu, memahami osmoregulasi merupakan hal yang penting untuk memahami sistem ekskresi tubuh makhluk hidup. Dengan demikian, jelaslah hubungan saling memengaruhi antara osmoregulasi dengan sistem ekskresi dalam tubuh manusia.

2. Ginjal Sebagai Alat Ekskresi Manusia

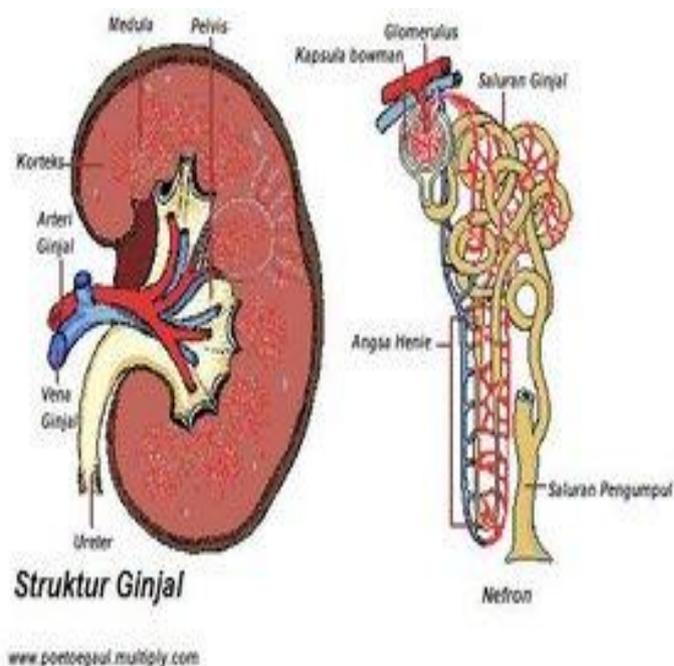
Pusat sistem ekskresi manusia adalah dua buah ginjal. Masing-masing berupa organ yang kompak (padat), ukurannya sebesar kepalan tangan manusia pemiliknya. Ginjal merupakan alat ekskresi penting yang mempunyai beberapa fungsi, antara lain menyaring darah sehingga menghasilkan urin; mengekskresikan zat-zat yang membahayakan tubuh. Misalnya protein-protein asing yang masuk ke dalam tubuh, urea, asam urat, dan bermacam-macam garam; mengekskresikan zat-zat yang jumlahnya berlebihan, misalnya kadar gula darah yang melebihi normal; mempertahankan tekanan osmosis cairan ekstraseluler; dan mempertahankan keseimbangan asam dan basa.

Ginjal mengandung sekitar 80 km saluran halus yang membentuk jalinan dengan kapiler darah. Tubuh kita mengandung sekitar 5 liter darah. Karena darah terus menerus beredar, sekitar 1.100 hingga 2.000 liter melewati kapiler ginjal setiap hari. Sewaktu darah beredar, ginjal menyaring 180 liter cairan (disebut filtrat) terdiri atas air, urea, dan sejumlah zat-zat terlarut yang penting seperti Na^+ , K^+ , Cl^- , HCO_3^- (bikarbonat), glukosa, dan asam amino. Jika kita mengekskresikan semua filtrat sebagai urin, kita akan kehilangan zat-zat nutrisi penting juga mengalami dehidrasi dengan cepat. Namun ginjal kita menyaring kembali filtrat, hasilnya sejumlah urea dan sebagian besar air serta zat-zat terlarut dikembalikan ke dalam darah. Setiap hari kita hanya mengekskresikan sekitar 1,5 liter urin.



Anatomi Ginjal Manusia

Ginjal (ren) manusia berjumlah sepasang, terletak di rongga perut sebelah kanan depan dan kiri depan ruas-ruas tulang belakang bagian pinggang. Ginjal kanan lebih rendah dari pada ginjal kiri karena di atas ginjal kanan terdapat hati. Ginjal berbentuk seperti biji ercis dengan panjang sekitar 10 cm dan berat sekitar 200 gram. Ginjal yang dibelah secara membujur (Gambar 1.3.) akan memperlihatkan bagian-bagian korteks yang merupakan lapisan luar, medula (sumsum ginjal), dan pelvis (rongga ginjal). Di bagian korteks terdapat jutaan alat penyaring yang disebut nefron. Setiap nefron terdiri atas badan Malpighi dan tubulus kontortus. Badan Malpighi terdiri atas kapsula (simpai) Bowman dan glomerulus. Glomerulus merupakan anyaman pembuluh darah kapiler. Kapsula Bowman berbentuk mangkuk yang mengelilingi glomerulus. Tubulus kontortus terdiri atas tubulus kontortus proksimal, tubulus kontortus distal, dan tubulus kontortus kolektivus. Di antara tubulus kontortus proksimal dan tubulus kontortus distal terdapat gelung/lengkung Henle pars ascenden (naik) dan pars descenden (turun).



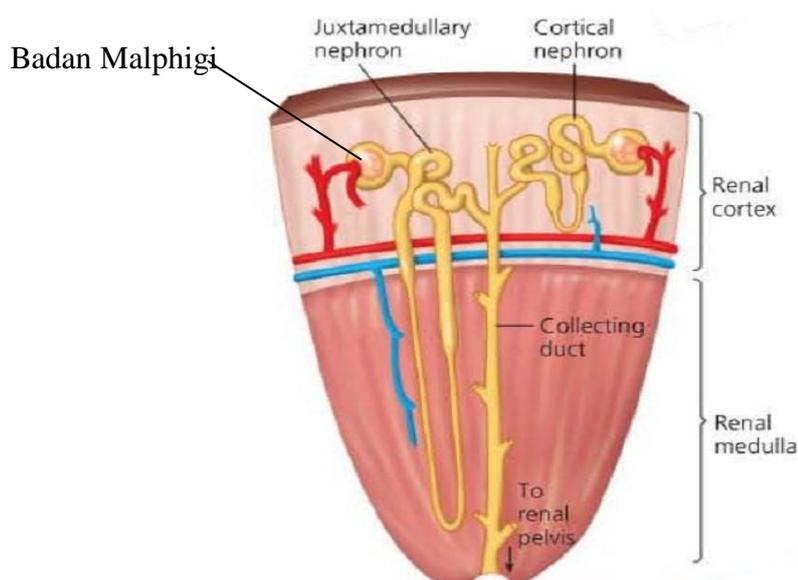
Gambar 1. 3. Struktur anatomi ginjal manusia



Penamaan beberapa bagian ginjal mengambil nama ahli yang berjasa dalam penelitian ginjal. Kapsula Bowman mengambil nama William Bowman (1816 – 1892). Seorang ahli bedah yang merupakan perintis di bidang saluran kemih yang mengidentifikasi kapsula tersebut. Lengkung Henle mengambil nama Jacob Henle (1809-1885), seorang ahli anatomi berkebangsaan Jerman yang mendeskripsikan lengkung di dalam ginjal tersebut. Glomerulus pada badan Malpighi diidentifikasi oleh seorang ahli mikroanatomi berkebangsaan Italia bernama Marcerllo Malpighi (1628 - 1694).

Mekanisme Kerja Ginjal dalam Sistem Ekskresi

Setiap ginjal mengandung sekitar 1 juta unit fungsional (nefron) (Gambar 1.4.). Nefron mengandung saluran-saluran dan berhubungan dengan pembuluh darah. Membentuk fungsi ginjal dalam miniatur, nefron mengekstrak sedikit filtrat dari darah dan menyaring filtrat menjadi urin yang jumlahnya jauh lebih sedikit. Setiap nefron dimulai dan berakhir pada bagian korteks ginjal. Beberapa bagian nefron menyorok ke bagian medula. Ujung nefron penerima pembuluh darah berbentuk mangkuk disebut kapsula Bowman. Ujung nefron lainnya berakhir di saluran pengumpul, yang membawa urin ke bagian pelvis ginjal.



Gambar 1.4. Satu unit nefron tampak pada penampang membujur ginjal



Kapsul Bowman menyelimuti kapiler darah berbentuk bola yang disebut glomerulus. Glomerulus bersama kapsul Bowman membentuk satu unit penyaring pada nefron. Di tempat ini, tekanan darah mendorong air dan zat-zat terlarut dalam darah di dalam kapiler glomerulus melewati dinding kapsula Bowman dan masuk ke saluran (tubulus) nefron. Proses itu menghasilkan filtrat, sel-sel darah dan molekul-molekul besar seperti protein plasma tetap berada di dalam kapiler.

Tubulus setelah kapsul Bowman terdiri atas tiga bagian, yaitu (1) tubulus proksimal (ada pada bagian korteks ginjal), (2) lengkung Henle berupa saluran yang memiliki lengkungan membawa filtrat ke bagian medula ginjal (dalam beberapa kasus) dan kembali lagi ke bagian korteks, serta (3) tubulus distal (dinamakan distal karena bagian ini merupakan bagian terjauh dari kapsula Bowman). Tubulus distal mengosongkan filtrat ke dalam saluran pengumpul, yang menerima filtrat dari banyak nefron. Melewati saluran pengumpul, filtrat selanjutnya menjadi urin. Dari berbagai saluran pengumpul, urin masuk ke bagian pelvis ginjal, dan selanjutnya ke ureter.

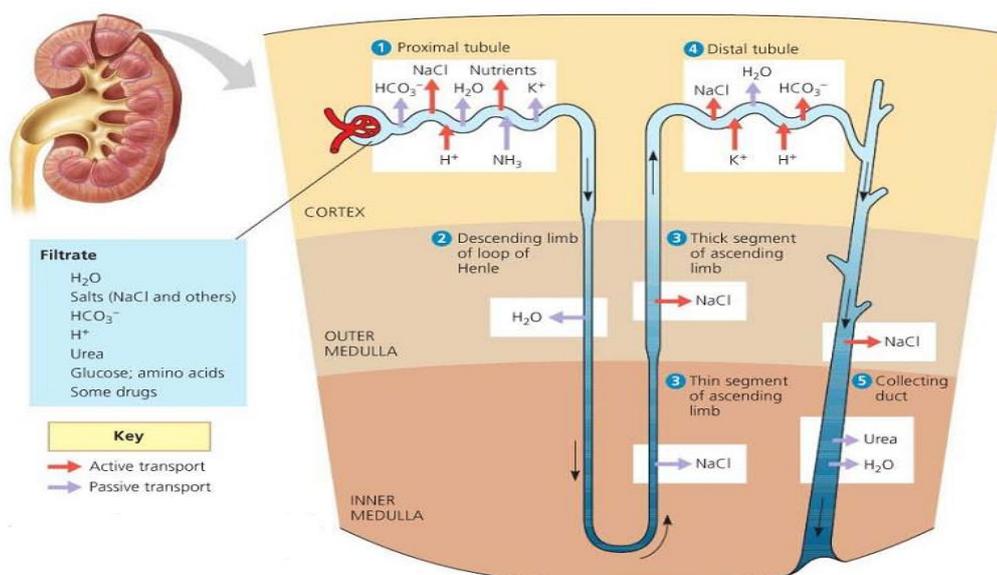
Jalinan antara pembuluh darah dengan tubulus merupakan kunci dari fungsi nefron. Nefron mempunyai dua jalinan kapiler yang berbeda. Pertama, jalinan berupa glomerulus. Di bagian ini arteriol dari arteri renalis dibagi menjadi bagian-bagian halus (kapiler). Meninggalkan glomerulus, arteriol terbentuk kembali dan membawa darah ke jalinan kedua yaitu kapiler yang mengelilingi tubulus proksimal dan tubulus distal. Fungsi jalinan kedua bersama tubulusnya menyaring kembali filtrat. Beberapa pembuluh darah pada jalinan itu memanjang ke bawah sepanjang lengkung Henle. Darah dibawa melalui kapiler itu masuk ke bagian medula sepanjang sisi lengkung. Setelah meninggalkan nefron, kapiler menyatu membentuk cabang kecil vena renalis.

Proses-proses penting yang berhubungan dengan proses pembentukan urin (Gambar 1.5.), yaitu:

1. Filtrasi (penyaringan): kapsula Bowman dari badan Malpighi menyaring darah dalam glomerus yang mengandung air, garam, gula, urea dan zat bermolekul besar (protein dan sel darah) sehingga dihasilkan filtrat glomerus (urin primer). Di dalam filtrat ini terlarut zat yang masih berguna bagi tubuh maupun zat yang tidak berguna bagi tubuh, misal glukosa, asam amino dan garam-garam.



2. Reabsorpsi (penyerapan kembali): pada tubulus kontortus proksimal zat dalam urin primer yang masih berguna akan direabsorpsi yang dihasilkan filtrat tubulus (urin sekunder) dengan kadar urea yang tinggi.
3. Sekresi (pengeluaran): dalam tubulus kontortus distal, pembuluh darah mengeluarkan zat lain yang tidak digunakan, di antaranya ion-ion H^+ dan K^+ , untuk ditambahkan pada urin sekunder. Selain itu juga masih mungkin terjadi reabsorpsi aktif ion Na^+ dan Cl^- .
4. Ekskresi (pembuangan): Pada tubulus kolektifus terdapat urin yang sesungguhnya (tanpa glukosa dan protein lagi), selanjutnya akan disalurkan ke pelvis renalis. Selanjutnya dari Pelvis renalis akan bermuara pada saluran ureter menuju kandung kemih (vesika urinaria). Akhirnya urin dikeluarkan dari tubuh melalui uretra.



Gambar 1. 5. Mekanisme pembentukan urin pada ginjal

Hal yang perlu diperhatikan dalam pembentukan urin meliputi:

- a. Dalam keadaan normal urin tidak mengandung glukosa dan protein
- b. Diabetes melitus terjadi karena adanya glukosa dalam urin yang disebabkan kekurangan hormon insulin
- c. Banyak urin yang dikeluarkan tergantung dari banyaknya air yang diminum dan kadar HAD (Hormon Anti Diuretik)



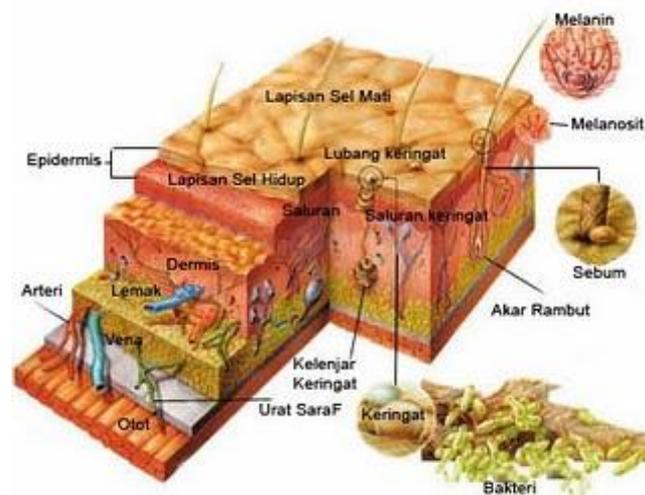
Sebagai alat sistem ekskresi pada ginjal juga terjadi mekanisme osmoregulasi, yang tampak dari aktivitasnya sebagai berikut:

- Membuang zat-zat yang merugikan bagi tubuh, antara lain : urea, asam urat, amoniak, kreatinin, garam anorganik, metabolit bakteri dan kelebihan obat-obatan.
- Membuang kelebihan gula dalam darah.
- Membantu keseimbangan air dalam tubuh, yaitu mempertahankan tekanan osmotik ekstraseluler.
- Mengatur konsentrasi garam dalam darah dan keseimbangan asam basa darah.

3. Kulit Sebagai Alat Ekskresi Manusia

Fungsi kulit adalah lain melindungi tubuh terhadap gesekan, kuman, penyinaran, panas dan zat kimia, mengatur suhu tubuh, menerima rangsang dari luar serta mengurangi kehilangan air. Sebagai bagian dari sistem ekskresi, kulit pada manusia juga berfungsi untuk mengeluarkan kelebihan garam-garam dari dalam tubuh dalam bentuk keringat.

Kulit tersusun atas tiga lapisan, yaitu epidermis (lapisan luar/kulit ari), dermis (lapisan dalam/kulit jangat), dan hipodermis (jaringan ikat bawah kulit) (Gambar 1.6.). Kelenjar keringat berada di lapisan dermis (kulit dalam), bersama dengan kelenjar minyak dan kantong rambut.



Gambar 1.6. Lapisan-lapisan kulit manusia



Mekanisme Pengeluaran Keringat pada Manusia

Pangkal kelenjar keringat berhubungan dengan pembuluh darah kapiler di lapisan dermis kulit manusia. Melalui proses osmosis dan difusi, kelenjar keringat akan menyerap air dan garam-garam dari darah dalam pembuluh-pembuluh kapiler tersebut. Sebelumnya, sistem saraf simpatis telah mengendalikan pelebaran pembuluh-pembuluh darah kapiler kulit hingga dinding pembuluhnya menipis dan lebih bersifat semipermeabel. Selanjutnya air garam dari dalam kelenjar keringat keluar tubuh melalui saluran yang berujung ke pori-pori kulit sebagai cairan keringat. Pada keadaan normal, keringat akan dihasilkan oleh kelenjar keringat sekitar 50 ml setiap jam.

Pengeluaran Keringat sebagai Proses Ekskresi dan Homeostatis Manusia

Sebagai mekanisme ekskresi, telah diketahui bahwa keringat yang dikeluarkan oleh tubuh untuk membuang kelebihan garam-garam dan urea dari darah, terutama NaCl. Selain dari itu, ternyata pengeluaran keringat juga penting untuk memelihara keadaan homeostatis tubuh manusia. Homeostatis adalah kondisi keseimbangan kondisi internal tubuh untuk menunjang proses metabolisme yang optimal.

Pada kondisi tertentu, yaitu bila aktivitas tubuh meningkat, suhu tubuh atau lingkungan tinggi, maupun guncangan emosi, keringat dapat dihasilkan lebih dari 50 ml per jam. Penguapan keringat di permukaan tubuh akan membantu menurunkan suhu tubuh, mengurangi zat sampah yang berlimpah dari aktivitas metabolisme tubuh yang tinggi, serta mengurangi ketegangan terhadap saraf simpatis akibat stress. Akan tetapi perlu untuk diperhatikan perimbangan air dan garam-garam yang keluar sebagai keringat dengan pemasukan air dalam tubuh. Secara alami, bila tubuh kita mengeluarkan banyak keringat, maka pengeluaran dari ginjal berupa urin juga berkurang.

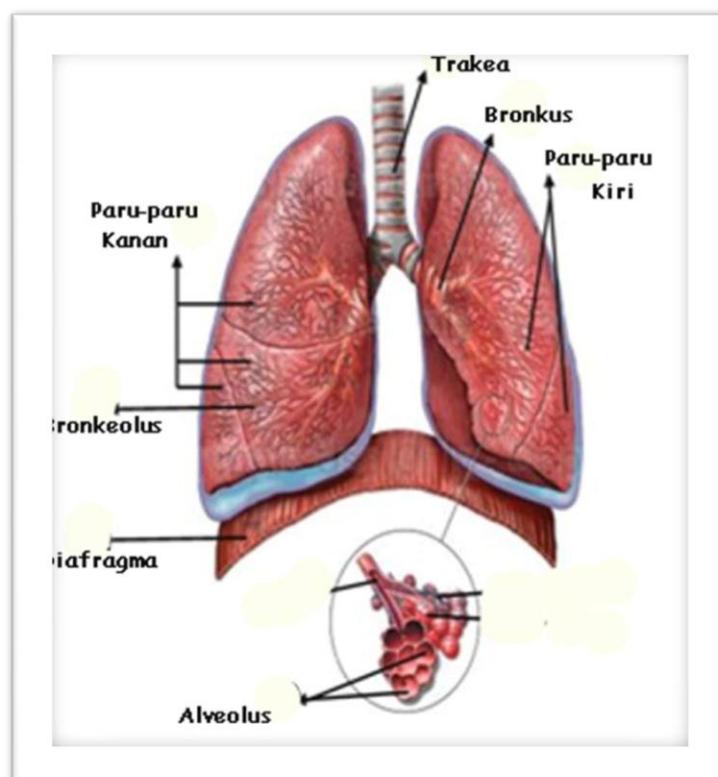
4. Paru-Paru Sebagai Organ Ekskresi

Sepasang organ paru-paru manusia terletak di rongga dada, dilindungi oleh tulang rusuk dan selaput pencegah kekeringan. Fungsi ekskresi organ paru-paru manusia adalah ketika mengeluarkan gas karbondioksida dan uap air sebagai



sisa metabolisme penguraian gula menjadi energi. Perpanjangan dari tenggorokan (*trachea*) bercabang di dada menjadi *bronki*, yang menjadi awal saluran paru-paru kanan dan kiri. Setiap bronki akan bercabang-cabang seperti ranting pohon hingga ujung cabang terhalusnya (*bronkiolus*) membentuk gelembung-gelembung kantung udara berdinding tipis dan diliputi oleh pembuluh-pembuluh darah kapiler nadi dan vena, yang disebut *alveolus*. Kantung-kantung alveolus yang rapat dari banyak sekali bronkiolus itulah yang kemudian membentuk struktur gelambir organ paru-paru. Paru-paru sebelah kanan memiliki tiga gelambir dan paru-paru sebelah kiri memiliki dua gelambir (Gambar 1.7.).

Gas karbondioksida dan uap air sebagai sisa dari metabolisme tubuh didifusikan ke dalam gelembung alveolus oleh pembuluh vena kapiler yang menempel di dinding luar gelembung. Gas-gas tersebut kemudian dihembuskan ke luar tubuh melalui hidung atau mulut.



Gambar 1. 7. Ilustrasi paru-paru manusia



5. Dialisis Buatan Dan Pencangkakan Ginjal

Ginjal merupakan organ utama dari sistem ekskresi manusia. Penyakit maupun kerusakan fisik yang berat pada ginjal dapat menyebabkan masalah serius bagi tubuh manusia, karena keadaan homeostatis yang terganggu. Bila darah tidak dapat disaring maupun direabsorpsi dengan baik oleh ginjal, maka paling tidak akan terjadi hal-hal sebagai berikut:

- Darah yang beredar dalam tubuh akan akan dikotori oleh sampah metabolisme berbentuk urea dan lain-lain hingga tubuh dapat teracuni dalam jangka waktu tertentu.
- Kadar gula dan garam dalam darah menjadi sangat tinggi sehingga dapat menimbulkan penyakit diabetes dan darah tinggi.
- Kerja hati menjadi lebih berat karena darah yang masuk ke dalamnya makin lama makin kotor dan berat untuk didetoksifikasi.

Walaupun tidak optimal, sebenarnya manusia mampu bertahan hidup hanya dengan satu ginjal yang berfungsi dengan baik. Namun demikian banyak kasus yang menyebabkan kedua ginjal tidak dapat berfungsi sempurna, bahkan hampir tidak berfungsi lagi sama sekali. Berdasarkan pentingnya fungsi ginjal, maka ada dua teknologi yang telah dikembangkan untuk menanggulangi kasus ginjal lemah fungsi atau tidak berfungsi sama sekali, yaitu dialisis buatan dan pencangkakan ginjal.

Dialisis Buatan

Dalam konteks pengganti fungsi ginjal, dialisis buatan sering disebut juga sebagai hemodialisis. Hemodialisis berasal dari kata hemo = darah, dan dialysis = pemisahan atau filtrasi. Pada prinsipnya hemodialisis menempatkan darah berdampingan dengan cairan dialisat atau pencuci yang dipisahkan oleh suatu membran atau selaput semi permeabel. Membran ini dapat dilalui oleh air dan zat tertentu atau zat sampah (Gambar 1.8.). Terapi hemodialisis adalah suatu teknologi tinggi sebagai terapi pengganti untuk mengeluarkan sisa-sisa metabolisme atau racun tertentu dari peredaran darah manusia seperti air, natrium, kalium, hidrogen, urea, kreatinin, asam urat, dan zat-zat lain melalui membran semi permeabel sebagai pemisah darah dan cairan dialisat pada ginjal buatan dimana terjadi proses difusi, osmosis dan ultra filtrasi.



Gambar 1.8. Deskripsi sederhana proses hemodialisis

Dialisis ginjal buatan atau hemodialisis sering dikatakan sebagai proses cuci darah dalam istilah awam. Mungkin hal ini berkaitan dengan mekanisme pembersihan darah yang menjadi tujuan dari hemodialisis. Sebagai terapi pengganti, kegiatan hemodialisis mempunyai tujuan :

- a. Membuang produk metabolisme protein seperti urea, kreatinin dan asam urat
- b. Membuang kelebihan air.
- c. Mempertahankan atau mengembalikan sistem penyangga asam basa tubuh.
- d. Mempertahankan atau mengembalikan kadar elektrolit tubuh.
- e. Memperbaiki status kesehatan penderita.

Dalam kegiatan hemodialisis terjadi tiga proses utama seperti berikut:

- a. Proses Difusi yaitu berpindahnya bahan terlarut karena perbedaan kadar di dalam darah dan di dalam dialisat. Semakin tinggi perbedaan kadar dalam darah maka semakin banyak bahan yang dipindahkan ke dalam dialisat.
- b. Proses Ultrafiltrasi yaitu proses berpindahnya air dan bahan terlarut karena perbedaan tekanan hidrostatik dalam darah dan dialisat.
- c. Proses Osmosis yaitu proses berpindahnya air karena tenaga kimia, yaitu perbedaan osmolaritas darah dan dialisat.

Hemodialisis dilakukan jika gagal ginjal sampai menyebabkan masalah-masalah berikut:



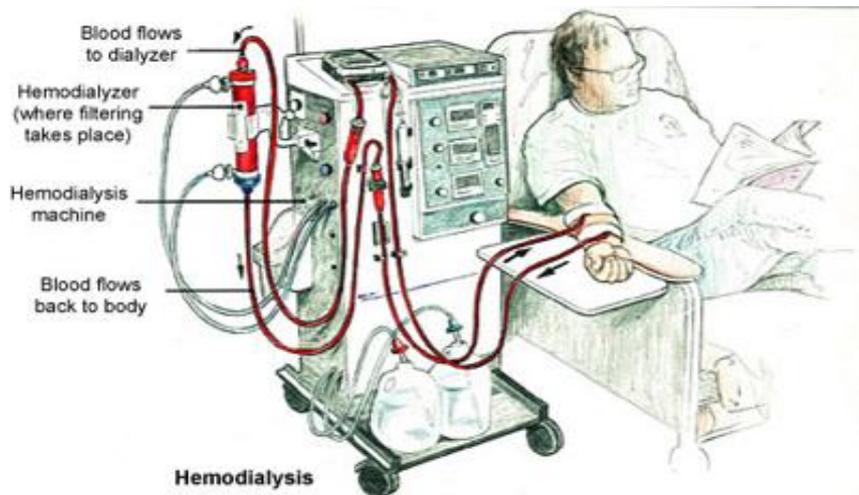
- a. Kelainan fungsi otak (ensefalopati uremik)
- b. Perikarditis (peradangan kantong jantung)
- c. Asidosis (peningkatan keasaman darah) yang tidak memberikan respon terhadap pengobatan lainnya.
- d. Gagal jantung
- e. Hiperkalemia (kadar kalium yang sangat tinggi dalam darah).

Frekuensi hemodialisis tergantung kepada banyaknya fungsi ginjal yang tersisa, tetapi sebagian besar penderita menjalani dialisa sebanyak 3 kali/minggu. Program dialisa dikatakan berhasil jika :

- a. Penderita kembali menjalani hidup normal.
- b. Penderita kembali menjalani diet yang normal.
- c. Jumlah sel darah merah dapat ditoleransi.
- d. Tekanan darah normal.
- e. Tidak terdapat kerusakan saraf yang progresif

Dialisis bisa digunakan sebagai pengobatan jangka panjang untuk gagal ginjal kronis atau sebagai pengobatan sementara sebelum penderita menjalani pencangkokan ginjal. Pada gagal ginjal akut, dialisa dilakukan hanya selama beberapa hari atau beberapa minggu, sampai fungsi ginjal kembali normal. Komplikasi dalam pelaksanaan hemodialisis yang sering terjadi pada saat dilakukan terapi adalah :

- a. Hipotensi
- b. Kram otot
- c. Mual atau muntah
- d. Sakit kepala
- e. Sakit dada
- f. Gatal-gatal
- g. Demam dan menggigil
- h. Kejang



Gambar 1.9. Ilustrasi seseorang yang sedang menjalani proses dialisis buatan (hemodialisis)

Pencangkokan ginjal

Salah satu alternatif penanggulangan gagal ginjal adalah dengan melakukan pencangkokan organ ginjal. Transplantasi (cangkok) ginjal adalah proses pencangkokan ginjal ke dalam tubuh seseorang melalui tindakan pembedahan. Ginjal baru bersama ginjal lama yang fungsinya sudah memburuk akan bekerja bersama-sama untuk mengeluarkan sampah metabolisme dari dalam tubuh.

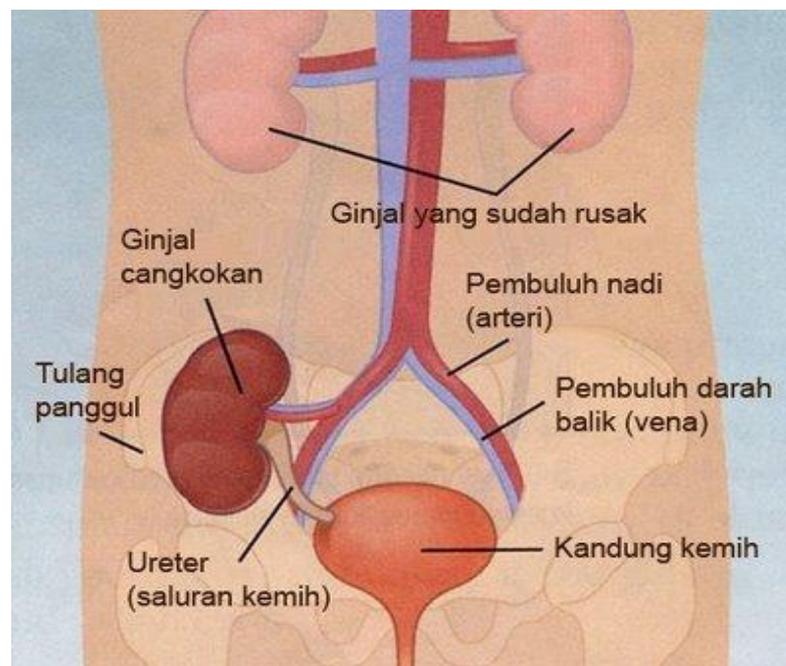
Dokter bedah akan meletakkan ginjal di dalam perut sebelah bawah, kemudian menghubungkan pembuluh darah dan saluran kencing (*ureter*) ginjal baru tersebut ke pembuluh darah dan ureter penderita (Gambar 1.10). Setelah terhubung, ginjal akan dialiri darah yang akan dibersihkan. Air kencing (*urine*) biasanya langsung diproduksi. Tetapi beberapa keadaan, urine diproduksi bahkan setelah beberapa minggu. Ginjal lama yang dua buah akan dibiarkan di tempatnya. Tetapi jika ginjal tersebut menyebabkan infeksi atau menimbulkan penyakit darah tinggi, maka harus diangkat.

Tidak semua orang cocok untuk mendapatkan transplantasi. Beberapa kondisi dapat membuat proses transplantasi berbahaya atau tidak mungkin berhasil. Ginjal baru dapat diperoleh dari donor yang baru saja meninggal dunia, atau dari donor hidup. Donor hidup bisa keluarga, bisa juga bukan, biasanya pasangan atau teman. Jika anda tidak memiliki donor hidup, anda akan dimasukkan ke



dalam daftar tunggu untuk memperoleh ginjal dari donor meninggal. Masa tunggu tersebut dapat berlangsung bertahun-tahun. Petugas transplantasi akan mempertimbangkan tiga faktor untuk menentukan kesesuaian ginjal dengan penerima (resipien). Faktor tersebut akan menjadi tolak ukur untuk memperkirakan apakah sistem imun tubuh penerima akan menerima atau menolak ginjal baru tersebut. Faktor-faktor tersebut adalah:

- a. **Golongan darah.** Golongan darah penerima (A,B, AB, atau O) harus sesuai dengan golongan darah donor. Faktor golongan darah merupakan faktor penentu kesesuaian yang paling penting.
- b. **Human leukocyte antigens (HLAs).** Sel tubuh membawa 6 jenis HLAs utama, 3 dari ibu dan 3 dari ayah. Sesama anggota keluarga biasanya mempunyai HLAs yang sesuai. Resipien masih dapat menerima ginjal dari donor walaupun HLAs mereka tidak sepenuhnya sesuai, asal golongan darah mereka cocok, dan tes lain tidak menunjukkan adanya gangguan kesesuaian.
- c. **Uji silang antigen.** Tes terakhir sebelum dilakukan pencangkokan adalah uji silang organ. Sejumlah kecil darah resipien dicampur dengan sejumlah kecil darah donor. Jika tidak terjadi reaksi, maka hasil uji disebut uji silang negatif, dan transplantasi dapat dilakukan.



Gambar 1. 10. Posisi ginjal cangkokan pada tubuh pasien penerimanya



Pembedahan untuk cangkok ginjal biasanya memakan waktu 3 sampai 4 jam. Lama rawat di rumah sakit biasanya adalah satu minggu. Setelah keluar dari rumah sakit, resipien masih harus melakukan kunjungan secara teratur untuk menindaklanjuti hasil pencangkokan. Sedangkan bagi pendonor hidup, waktu yang dibutuhkan hampir sama dengan resipien. Walaupun demikian, karena teknik operasi untuk mengangkat ginjal donor semakin maju, maka waktu rawat menjadi lebih pendek, mungkin 2 sampai 3 hari.

Setelah transplantasi, dokter akan memberikan penderita obat immunosupresan, yang berguna untuk mencegah reaksi penolakan, yaitu reaksi dimana sistem tubuh menyerang ginjal baru yang dicangkokkan. Obat immunosupresan harus diminum setiap hari selama ginjal baru terus berfungsi. Kadang-kadang, reaksi penolakan tetap terjadi walaupun penderita sudah minum obat immunosupresan. Jika hal ini terjadi, penderita harus kembali menjalani dialisis, atau melakukan transplantasi dengan ginjal lain. Obat immunosupresan akan melemahkan daya tahan tubuh, sehingga dapat mempermudah timbulnya infeksi. Beberapa jenis obat immunosupresan juga dapat merubah penampilan. Wajah akan tampak lebih gemuk, berat badan bertambah, timbul jerawat, atau bulu di wajah. Tetapi tidak semua resipien mengalami gejala tersebut. Selain itu, immunosupresan juga dapat menyebabkan katarak, diabetes, asam lambung berlebihan, tekanan darah tinggi, dan penyakit tulang.

Pencangkokan ginjal memiliki beberapa keuntungan, antara lain:

- a. Ginjal baru akan bekerja seperti halnya ginjal normal.
- b. Penderita akan merasa lebih sehat dan "lebih normal".
- c. Penderita tidak perlu melakukan dialisis
- d. Penderita yang mempunyai usia harapan hidup yang lebih besar.

Adapun hal-hal yang perlu dipertimbangkan sebagai konsekuensi dan resiko dari pencangkokan ginjal antara lain:

- a. Butuh proses pembedahan besar.
- b. Proses untuk mendapatkan ginjal lebih sulit atau lebih lama.
- c. Tubuh menolak ginjal yang dicangkokkan.

Penderita harus rutin minum obat immunosupresan, yang mempunyai banyak efek samping.



D. Aktivitas Pembelajaran

Untuk lebih memahami mengenai topik ekskresi Saudara hendaknya membaca modul ini mulai dari tujuan, indikator pencapaian kompetensi, uraian materi, dan aktivitas pembelajaran yang harus dilakukan. Selanjutnya Saudara secara individu atau berkelompok mencoba Lembar Kerja I dan II yang tersedia di bawah ini. Aktivitas pada Lembar Kerja ini menunjukkan peristiwa osmosis dan difusi serta menguji uap air dan CO_2 sebagai hasil ekskresi organ paru-paru.

Lembar Kerja I Osmosis Dan Difusi

Tujuan : Menentukan adanya peristiwa difusi, osmosis dan tekanan osmotik berdasarkan percobaan.

Alat dan Bahan:

1. Larutan garam dapur dalam air
2. Air tawar
3. Irisan kentang (tebal $\pm 0,5$ cm)
4. Irisan mentimun (tebal $\pm 0,5$ cm)
5. Teh celup
6. Mangkuk kecil atau cawan petri dua buah
7. Gelas bening satu buah
8. Kertas dan pulpen

Langkah kerja:

A. Teh celup

1. Masukkan satu kantung teh celup ke dalam gelas bening berisi air tawar tanpa digoyang-goyangkan.
2. Amati apa yang terjadi setelah 15 - 20 menit.



B. Mentimun dan kentang

1. Buatlah gambar jiplakan dari keliling masing-masing irisan kentang dan mentimun yang akan digunakan di atas kertas.
2. Isilah masing-masing mangkuk kecil atau cawan petri dengan larutan garam dapur dan air tawar secara terpisah.
3. Masukkan rendam seiris kentang dan seiris mentimun ke dalam masing-masing mangkuk kecil atau cawan petri yang telah diisi.
4. Rendam irisan kentang dan mentimun selama 15 - 20 menit.
5. Jiplaklah kembali keliling dari masing-masing irisan tepat di atas gambar jiplakan sebelum direndam.
6. Bandingkan kedua gambar jiplakan anda.
7. Amati juga kondisi irisan kentang dan mentimun yang telah direndam.

Hasil Pengamatan:

1. Apa yang terjadi pada air tawar berisi teh celup? Teh akan melarut dan menyebar di dalam air.
Peristiwa apa yang anda temukan? Difusi
2. Apa yang terjadi pada irisan kentang dan mentimun yang dimasukkan ke dalam air garam?
Irisan mentimun akan menyusut ukurannya dan lebih lunak. Sel-sel mentimun yang cairannya lebih pekat dari air tawar kehilangan air yang keluar melalui membran selnya.
Peristiwa apa yang anda temukan? Osmosis



3. Apa yang terjadi pada irisan kentang dan mentimun yang dimasukkan ke dalam air tawar?

Irisan mentimun akan sedikit membesar dan lebih keras. Air tawar masuk ke dalam sel-sel mentimun yang memiliki cairan lebih pekat.

Peristiwa apa yang anda temukan? Imbibisi

Lembar Kerja li

Hasil Ekskresi Organ Paru-Paru

Tujuan: Menentukan adanya uap air dan gas CO_2 hasil ekskresi dari organ paru-paru

Alat dan bahan:

1. Cermin atau potongan kaca
2. Larutan air kapur bening (kristal CaCO_3 dilarutkan dalam air, didiamkan satu malam, diambil hati-hati bagian yang bening)
3. Sedotan

Langkah kerja:

A. Menentukan adanya uap air dari paru-paru

1. Hembuskan napas ke cermin atau potongan kaca!
2. Perhatikan yang terjadi pada permukaan cermin atau kaca yang dihembus!



B. Menentukan adanya gas CO₂ dalam gas hasil eksresi paru-paru

1. Hembuskan napas ke dalam larutan bening air kapur menggunakan sedotan!
2. Perhatikan adanya perubahan warna larutan air kapur!

Hasil Pengamatan:

1. Apakah dan dari manakah sesuatu yang muncul di permukaan cermin/kaca yang terkena hembusan napas? Ada embun menempel di permukaan cermin/kaca. Embun tersebut berasal dari uap air yang terdapat dalam hembusan napas.
2. Apakah yang menyebabkan perubahan pada larutan air kapur?
Air kapur menjadi keruh karena terbentuk endapan Ca₂CO₃ sebagai hasil reaksi antara CaO dalam air kapur dengan gas CO₂ dari udara hembusan napas.
3. Reaksi metabolisme apakah yang menghasilkan zat-zat ekskresi yang teramati tersebut?
(Tuliskan juga rumus reaksi kimianya)
$$\text{O}_2 \text{ (gas)} + \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 \text{ (padat)} \rightarrow \text{CO}_2 \text{ (gas)} + \text{H}_2\text{O (gas)} \rightarrow$$

mendingin menjadi embun)
$$\text{CO}_2 + \text{CaO (terlarut)} \rightarrow \text{Ca}_2\text{CO}_3 \text{ (padat)}$$



E. Latihan/Kasus/Tugas

1. Bagaimana mekanisme osmoregulasi dalam sistem ekskresi manusia?
2. Apa yang terjadi bila keringat keluar secara berlebihan?
3. Apa pengaruh dari minuman-minuman isotonik yang banyak diiklankan sekarang ini sebagai “pengganti keringat”, dan apakah benar manfaat yang dijanjikannya?
4. Mengapa paru-paru disebut juga menjalankan fungsi ekskresi?
5. Bagaimana gas karbondioksida dan uap air masuk ke dalam kantung alveolus sebelum dikeluarkan melalui hidung atau mulut?
6. Carilah informasi mengenai metode-metode lain yang telah dikembangkan untuk mengatasi masalah gangguan pada sistem ekskresi!

F. Rangkuman

Osmosis adalah perpindahan air sebagai pelarut, dari bagian yang lebih sedikit zat terlarutnya (hipotonis) ke bagian yang lebih banyak zat terlarutnya (hipertonis) melalui selaput (membran) semipermeabel. Difusi adalah peristiwa perpindahan zat terlarut dari larutan dengan konsentrasi tinggi menuju larutan dengan konsentrasi rendah. Tekanan osmotik adalah tekanan yang diberikan oleh suatu larutan untuk menghentikan perpindahan pelarut melalui membran semipermeabel. Osmoregulasi adalah kemampuan makhluk hidup mengendalikan kelebihan atau kekurangan air berikut zat-zat terlarut di dalam cairan tubuhnya. Kestabilan kandungan air dan zat terlarut selama dan setelah mekanisme ekskresi diatur melalui osmoregulasi.

Ginjal adalah organ utama dalam sistem ekskresi manusia. Fungsi ginjal sebagai alat ekskresi adalah menyaring darah dari zat-zat yang berbahaya, tak berguna maupun berlebih, lalu mengeluarkannya sebagai urin dari tubuh manusia. Dengan fungsi tersebut, ginjal membantu tubuh



dalam mempertahankan tekanan osmotik ekstraseluler dan mengatur konsentrasi garam serta keseimbangan asam-basa darah.

Sebagai bagian dari sistem ekskresi, kulit membuang kelebihan air dan garam-garam hasil metabolisme tubuh melalui pengeluaran keringat. Pengeluaran keringat juga sangat berpengaruh dalam mempertahankan homeostatis tubuh manusia dengan membantu menurunkan suhu tubuh, mencegah kelebihan garam dan mengendurkan tegangan saraf simpatis.

Sebagai bagian dari sistem ekskresi, paru-paru membuang uap air dan karbondioksida hasil metabolisme tubuh melalui rongga hidung atau mulut. Polusi udara, antara lain yang disebabkan oleh rokok, dapat merusak organ paru-paru.

Sebagai organ utama dalam sistem ekskresi manusia, ginjal yang mengalami gangguan fungsi akan mengakibatkan gangguan homeostatis yang serius bagi tubuh manusia. Oleh sebab itu, telah dikembangkan dua alternatif penanggulangan tidak berfungsinya ginjal pada tubuh manusia, yaitu:

1. Dialisis buatan

Metode ini menggunakan mesin dialisis yang memiliki membran dan muatan listrik khusus yang dapat "menarik" zat-zat sampah metabolisme dari dalam pembuluh darah pasien. Cara ini relatif mudah walaupun tidak murah, namun harus dilakukan terus menerus secara berkala.

2. Pencangkokan ginjal

Metode ini menggunakan sebuah ginjal pendonor yang ditanamkan ke tubuh pasien penerima (resipien). Cara ini mahal, memerlukan persyaratan yang banyak dan beresiko tinggi. Namun bila berhasil, resipien dapat hidup dengan relatif lebih nyaman tanpa keharusan melakukan cuci darah atau dialisis buatan.



G. Umpan Balik dan Tindak Lanjut

Setelah Anda menyelesaikan soal latihan di atas, Anda dapat menghitung tingkat keberhasilan Anda dengan menggunakan kunci/rambu-rambu jawaban yang terdapat pada bagian akhir modul ini. Jika Anda memperkirakan bahwa pencapaian Anda sudah melebihi 85%, silahkan terus mempelajari kegiatan Pembelajaran berikutnya. Namun jika pencapaian Anda masih kurang dari 85%, sebaiknya Anda ulangi kembali mempelajari kegiatan pembelajaran ini.



KEGIATAN PEMBELAJARAN 2: ENZIM

Seiring dengan peningkatan profesionalitas, guru juga harus menyadari bahwa ilmu pengetahuan dan teknologi dari waktu ke waktu terus berkembang, begitu pula Ilmu Pengetahuan Alam. Kemajuan ini tentunya perlu diikuti oleh semua guru sehingga ilmu pengetahuan yang disampaikan kepada peserta didik selalu mengikuti perkembangan. Oleh karena itu, agar pembelajaran di kelas berhasil, guru perlu terus membekali dirinya dengan penguatan materi biologi, salah satunya adalah materi metabolisme. Penguasaan konsep metabolisme ini merupakan topik yang sangat penting, untuk membantu guru dalam memahami konsep lainnya, seperti kebutuhan energi dalam bergerak, proses perubahan bahan makanan pada sistem pencernaan dan proses pernapasan.

Bahan ajar ini berisi uraian materi dan beberapa alternatif kegiatan atau praktikum yang mengacu pada standar isi di Sekolah Menengah Atas untuk mata pelajaran Biologi. Materi pelatihan ini disusun untuk membimbing guru dalam mencapai kompetensi sesuai dengan silabus diklat yang telah ditetapkan.

A. Tujuan

Kegiatan pembelajaran ini bertujuan meningkatkan pengetahuan guru tentang topik konsep metabolisme, konsep enzim, dan peran enzim dalam proses metabolisme. Kegiatan pembelajaran ini bertujuan meningkatkan keterampilan guru dalam melakukan praktik untuk menentukan faktor-faktor yang mempengaruhi kerja enzim.

B. Indikator Ketercapaian Kompetensi

Setelah melakukan pembelajaran ini guru mampu:

1. menjelaskan konsep metabolisme,
2. menjelaskan struktur enzim,
3. mengaitkan peran enzim dalam proses metabolisme, dan
4. menganalisis faktor-faktor yang mempengaruhi kerja enzim.



C. Uraian Materi

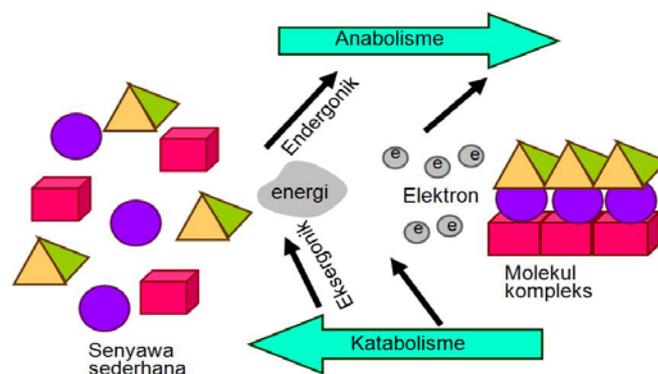
1. Pengertian Metabolisme

Metabolisme merupakan salah satu ciri kehidupan yang merupakan bentuk transformasi tenaga atau pertukaran zat melalui serangkaian reaksi biokimia. Proses metabolisme meliputi seluruh proses reaksi kimia yang terjadi di dalam makhluk hidup, mulai dari makhluk yang sangat sederhana (contoh: bakteri, protozoa, jamur) sampai makhluk hidup yang sangat kompleks (contoh: manusia, hewan vertebrata, dan tumbuhan). Sebagian besar proses metabolisme terjadi di dalam sel. Seluruh reaksi metabolisme dikatalisis oleh enzim, misalnya proses masuknya zat kimia dari dan keluar membran sel.

Pada dasarnya, metabolisme terbagi menjadi dua bagian, yaitu:

- katabolisme, yaitu proses penguraian molekul berukuran besar menjadi molekul berukuran kecil;
- anabolisme, yaitu proses penyusunan (sintesis) molekul berukuran besar dari molekul berukuran kecil.

Adapun perbedaan dari katabolisme dan anabolisme, yaitu dalam penggunaan dan produksi energi. Proses anabolisme sangat membutuhkan energi, sebaliknya katabolisme melepaskan energi. Selain itu, yang membedakannya adalah jenis reaksinya. Anabolisme merupakan reaksi reduksi, adapun katabolisme merupakan reaksi oksidasi, dan seringkali senyawa hasil anabolisme merupakan senyawa awal katabolisme. Ilustrasi proses metabolisme dan katabolisme dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1. Ilustrasi Anabolisme dan Katabolisme

Sumber gambar: <http://ipatar5.mdl2.com/course/index.php?categoryid=16>



2. Peran Enzim dalam Metabolisme

Dalam makhluk hidup, reaksi metabolisme berlangsung dengan melibatkan suatu senyawa protein yang disebut enzim. Enzim merupakan protein yang khusus disintesis oleh sel hidup untuk mengkatalisis reaksi yang berlangsung di dalamnya. Enzim adalah protein katalitik, yaitu suatu katalis adalah suatu agen kimiawi yang mengubah laju reaksi tanpa harus dipergunakan oleh reaksi itu. Dengan kata lain, enzim berfungsi sebagai katalis atau senyawa yang dapat mempercepat proses reaksi tanpa habis bereaksi. Katalisator adalah substansi yang mempercepat reaksi tetapi pada hasil reaksi, substansi tersebut tidak berubah. Adanya enzim menyebabkan lalu lintas kimiawi melalui jalur metabolisme akan menjadi lancar.

Fungsi khusus dari enzim adalah untuk menurunkan energi aktivasi, mempercepat reaksi pada suhu dan tekanan yang tetap tanpa mengubah besarnya tetapan keseimbangan dan sebagai pengendali reaksinya (Martoharsono, 1994). Dengan adanya enzim, molekul awal yang disebut substrat akan dipercepat perubahannya menjadi molekul lain yang disebut produk (Smith, 1997; Grisham *et al.*, 1999). Keunggulan enzim sebagai biokatalisator antara lain memiliki spesifitas tinggi, mempercepat reaksi kimia tanpa pembentukan produk samping, produktivitas tinggi dan dapat menghasilkan produk akhir yang tidak terkontaminasi sehingga mengurangi biaya purifikasi dan efek kerusakan lingkungan (Chaplin and Bucke, 1990).

Setiap reaksi kimiawi melibatkan pemutusan ikatan dan pembentukan ikatan (Campbel dkk., 2008). Misalnya pada hidrolisis sukrosa, pemutusan ikatan antara glukosa dan fruktosa. Molekul reaktan harus menyerap energi dari sekelilingnya untuk dapat memutuskan ikatannya, dan energi akan dibebaskan ketika ikatan baru pada molekul produk terbentuk. Pada saat pemutusan ikatan dan penggabungan menjadi produk baru tersebut memerlukan enzim.

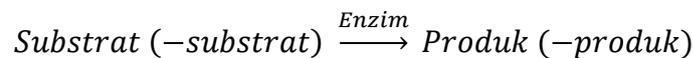
a. Struktur Enzim

Enzim adalah substansi yang dihasilkan oleh sel-sel hidup dan berperan sebagai katalisator pada reaksi kimia yang berlangsung dalam organisme. Enzim adalah biomolekul berupa protein berbentuk bulat (globular), yang terdiri atas satu rantai polipeptida atau lebih dari satu rantai polipeptida (Wirahadikusumah, 1989).

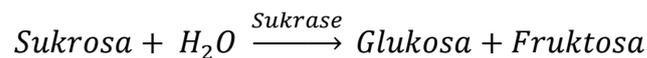


Enzim memiliki substrat yang spesifik

Reaktan di mana enzim akan bekerja disebut sebagai **substrat** enzim. Enzim berkaitan dengan substratnya (atau beberapa substratnya ketika terdapat dua atau lebih reaktan). Pada saat enzim dan substratnya berkaitan, kerja katalitik enzim tersebut akan mengubah substrat menjadi produk (atau beberapa produk) reaksi. Keseluruhan proses itu dapat diringkas sebagai berikut, dengan nama enzim ditulis di atas tanda panah reaksi:



Misalnya, enzim sukrase (sebagian besar nama enzim berakhiran-ase) memecah disakarida sukrosa menjadi kedua monosakaridanya, glukosa dan fruktosa.



Setiap enzim dapat membedakan substratnya dari senyawa yang sangat dekat sekalipun hubungannya, seperti isomer, sedemikian rupa sehingga setiap jenis enzim mengkatalisis suatu reaksi tertentu. Misalnya, sukrase hanya akan bekerja pada sukrosa dan akan menolak disakarida lain, seperti maltosa. Apa yang berperan dalam pengalaman pengenalan molekuler ini? ingat bahwa enzim adalah protein, dan protein adalah makromolekul dengan konformasi tiga dimensi yang unik. Kekhususan suatu enzim disebabkan oleh bentuknya tersebut.

Hanya daerah tertentu molekul enzim yang sesungguhnya berkaitan dengan substrat. Daerah ini, disebut **tempat aktif**, merupakan kantong atau lekukan yang khas pada permukaan protein tersebut. Umumnya, tempat aktif dibentuk oleh beberapa asam amino pada molekul enzim itu, dan sisanya adalah molekul protein yang memberikan suatu kerangka kerja yang menguatkan konfigurasi tempat aktif itu.

Kekhususan suatu enzim berhubungan dengan adanya kesesuaian antara bentuk tempat aktifnya dengan bentuk substratnya. Namun demikian, tempat aktif itu bukanlah suatu tempat penerima yang kaku bagi substrat tersebut. Ketika substrat memasuki tempat aktif, maka enzim akan terinduksi untuk mengelilingi substrat itu. **Kecocokan terinduksi (*induced fit*)** ini mirip dengan jabatan tangan



yang sangat erat. Kecocokan terinduksi ini akan membawa gugus kimiawi tempat aktif itu ke posisi yang meningkatkan kemampuannya untuk mengakatalisis reaksi kimiawi.



Gambar 2.2. Kerja enzim menurut teori gembok dan kunci (Emil Fischer, 1894)

b. Cara Kerja Enzim

Dalam suatu reaksi enzimatik, substrat berkaitan dengan tempat aktif untuk membentuk suatu kompleks enzim-substrat. Pada sebagian besar kasus, substrat terikat pada tempat aktif melalui interaksi yang lemah, seperti ikatan hidrogen dan ikatan ionik. Rantai samping (gugus R) beberapa asam amino yang membentuk tempat aktif akan mengkatalisis pengubahan substrat menjadi produk, dan produk itu akan keluar dari tempat aktif itu. Setelah itu, enzim itu akan bebas untuk mengikat molekul substrat lain pada tempat aktifnya. Keseluruhan siklus itu terjadi sedemikian cepatnya sehingga sebuah molekul enzim tunggal umumnya akan bekerja pada sekitar seribu molekul substrat per detik. Beberapa enzim bekerja lebih cepat lagi. Enzim-enzim, seperti katalis lain, keluar dari reaksi dalam bentuk aslinya.

Enzim menggunakan berbagai mekanisme untuk menurunkan energi aktivasi dan mempercepat reaksi. Pada reaksi yang melibatkan energi aktivasi dan mempercepat reaksi. Pada reaksi yang melibatkan dua atau lebih reaktan, tempat aktif memberikan suatu cekatan bagi substrat agar bisa ikut bersama (dalam suatu orientasi yang tepat) dalam reaksi yang terjadi di antara substrat - substrat tersebut. Ketika tempat aktif telah mengikat substrat melalui kecocokan terinduksi, enzim dapat menekan molekul-molekul substrat, merenggang dan membengkokkan ikatan kimiawi penting yang harus diputuskan selama reaksi itu.



Karena EA sebanding dengan kesulitan untuk memutuskan ikatan itu, maka gangguan terhadap substrat akan mengurangi jumlah energi termal yang harus diserap untuk mencapai suatu keadaan transisi.

Tempat aktif dapat juga menyediakan suatu lengkungan mikro yang konduktif bagi suatu jenis reaksi tertentu. Misalnya, jika tempat aktif memiliki asam amino dengan rantai samping (gugus R) yang asidik (bersifat asam), tempat aktif itu dapat menjadi kantong pH rendah dalam sel yang biasanya bersifat netral. Pada kasus seperti itu, suatu asam amino asidik bisa memudahkan transfer H^+ ke substrat sebagai langkah penting dalam mengkatalisis reaksi itu. Mekanisme lain dari katalisis adalah partisipasi langsung tempat aktif itu dalam reaksi kimiawi. Kadang-kadang proses ini bahkan melibatkan pembentukan ikatan kovalen sementara antara substrat dan rantai samping asam amino enzim tersebut. Langkah berikutnya pada reaksi itu akan mengembalikan rantai samping ke keadaannya semula, sehingga tempat aktif itu akan sama antara setelah reaksi dengan sebelum reaksi terjadi.

Laju di mana sejumlah tertentu enzim mengubah substrat menjadi produk, sebagian merupakan fungsi dari konsentrasi awal substrat: Semakin banyak molekul substrat yang tersedia, semakin sering molekul-molekul tersebut memasuki tempat aktif molekul enzim. Akan tetapi, terdapat keterbatasan dalam memacu kecepatan reaksi dengan cara menambahkan lebih banyak lagi substrat ke suatu konsentrasi enzim yang tetap. Pada suatu titik tertentu, konsentrasi substrat itu akan menjadi cukup tinggi sehingga sama tempat aktif pada semua molekul enzim sudah ditempati oleh substrat. Segera setelah produk meninggalkan tempat aktif, molekul substrat yang lain akan masuk. Pada konsentrasi substrat seperti ini, enzim itu dikatakan mengalami kejenuhan, dan laju reaksi ditentukan oleh kecepatan tempat aktif mengubah substrat menjadi produk. Ketika suatu populasi enzim telah jenuh, satu-satunya cara untuk meningkatkan produktivitas adalah menambahkan lebih banyak lagi enzim. Sel kadang-kadang melakukan cara ini, yaitu dengan membuat lebih banyak molekul enzim.



c. Sifat-sifat enzim antara lain

1) Spesifitas

Aktivitas enzim sangat spesifik karena pada umumnya enzim tertentu hanya akan mengkatalisis satu reaksi saja. Sebagai contoh, laktase menghidrolisis gula laktosa tetapi tidak berpengaruh terhadap disakarida yang lain. Hanya molekul laktosa saja yang akan sesuai dalam sisi aktif molekul (Gaman & Sherrington, 1994).

2) Pengaruh suhu

Aktivitas enzim sangat dipengaruhi oleh suhu. Untuk enzim hewan suhu optimal antara 35°C dan 40°C, yaitu suhu tubuh. Pada suhu di atas dan di bawah optimalnya, aktivitas enzim berkurang. Di atas suhu 50°C enzim secara bertahap menjadi inaktif karena protein terdenaturasi. Pada suhu 100°C semua enzim rusak. Pada suhu yang sangat rendah, enzim tidak benar-benar rusak tetapi aktivitasnya sangat banyak berkurang (Gaman & Sherrington, 1994). Enzim memiliki suhu optimum yaitu sekitar 18^o-23^oC atau maksimal 40^oC karena pada suhu 45^oC enzim akan terdenaturasi karena merupakan salah satu bentuk protein (Tranggono & Setiadji, 1989).

Suhu yang tinggi akan menaikkan aktivitas enzim namun sebaliknya juga akan mendenaturasi enzim (Martoharsono, 1994). Peningkatan temperatur dapat meningkatkan kecepatan reaksi karena molekul atom mempunyai energi yang lebih besar dan mempunyai kecenderungan untuk berpindah. Ketika temperatur meningkat, proses denaturasi juga mulai berlangsung dan menghancurkan aktivitas molekul enzim. Hal ini dikarenakan adanya rantai protein yang tidak terlipat setelah pemutusan ikatan yang lemah sehingga secara keseluruhan kecepatan reaksi akan menurun (Lee, 1992).

3) Pengaruh pH

pH optimal enzim adalah sekitar pH 7 (netral) dan jika medium menjadi sangat asam atau sangat alkalis enzim mengalami inaktivasi. Akan tetapi beberapa enzim hanya beroperasi dalam keadaan asam atau alkalis. Sebagai contoh, pepsin, enzim yang dikeluarkan ke lambung, hanya dapat berfungsi dalam kondisi asam, dengan pH optimal 2 (Gaman & Sherrington, 1994).



Enzim memiliki konstanta disosiasi pada gugus asam ataupun gugus basa terutama pada residu terminal karboksil dan asam aminonya. Namun dalam suatu reaksi kimia, pH untuk suatu enzim tidak boleh terlalu asam maupun terlalu basa karena akan menurunkan kecepatan reaksi dengan terjadinya denaturasi. Sebenarnya enzim juga memiliki pH optimum tertentu, pada umumnya sekitar 4,5–8, dan pada kisaran pH tersebut enzim mempunyai kestabilan yang tinggi (Williamson & Fieser, 1992).

4) Ko-enzim dan aktivator

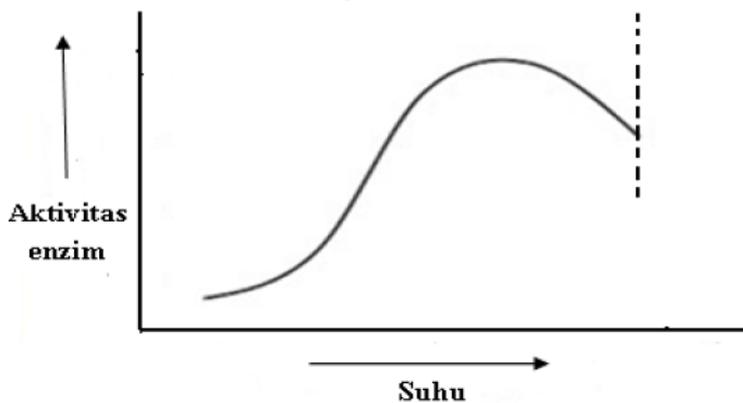
Ko-enzim adalah substansi bukan protein yang mengaktifkan enzim. Beberapa ion anorganik, misalnya ion kalsium dan ion klorida, menaikkan aktivitas beberapa enzim dan dikenal sebagai aktivator (Gaman & Sherrington, 1994).

d. Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Kerja Enzim

Aktivitas enzim dipengaruhi beberapa faktor, antara lain suhu, pH, konsentrasi enzim, substrat dan kofaktor, dan inhibitor.

1) Suhu

Enzim dapat mempercepat terjadinya reaksi kimia pada suatu sel hidup. Kerja suatu enzim sangat dipengaruhi suhu lingkungannya. Dalam batas-batas suhu tertentu, kecepatan reaksi yang dikatalisis enzim akan meningkat seiring dengan naiknya suhu. Reaksi yang paling cepat terjadi pada suhu optimum. Setiap kenaikan suhu 10°C , kecepatan enzim akan menjadi dua kali lipat, sampai batas suhu tertentu. Enzim dan protein pada umumnya dinonaktifkan oleh suhu tinggi. Enzim berdarah panas dan manusia bekerja paling efisien pada suhu 37°C , sedangkan enzim hewan berdarah dingin pada suhu 25°C . Suhu yang terlalu tinggi akan menyebabkan enzim terdenaturasi. Pada suhu 0°C , enzim menjadi tidak aktif dan dapat kembali aktif pada suhu normal.



Gambar 2.3. Grafik pengaruh suhu terhadap Aktivitas Enzim

2) pH

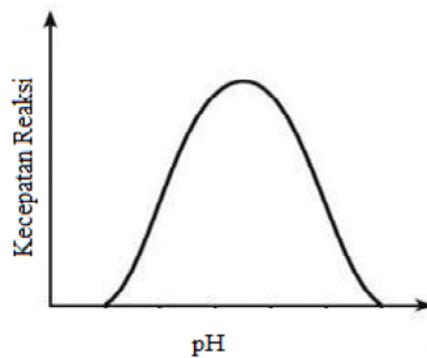
Enzim pada umumnya bersifat amfolitik, yang berarti enzim mempunyai konstanta disosiasi pada gugus asam maupun gugus basanya, terutama gugus terminal karboksil dan gugus terminal amino. Perubahan kereaktifan enzim diperkirakan merupakan akibat dari perubahan pH lingkungan. Semua enzim peka terhadap perubahan pH, dan nonaktif pada lingkungan pH sangat rendah (asam kuat) dan pH tinggi (basa kuat). Contoh, enzim pepsin memiliki pH optimum 2, sedangkan enzim tripsin memiliki pH optimum 8,5.

Enzim mempunyai ciri dimana kerjanya dipengaruhi oleh lingkungan. Salah satu lingkungan yang berpengaruh terhadap kerja enzim adalah pH. pH optimal enzim adalah sekitar pH 7 (netral) dan jika medium menjadi sangat asam atau sangat alkalis enzim mengalami inaktivasi (Gaman & Sherrington, 1994).

Suasana yang terlalu asam atau alkalis menyebabkan denaturasi protein dan hilangnya secara total aktivitas enzim. Pada sel hidup, perubahan pH sangat kecil. Enzim hanya aktif pada kisaran pH yang sempit. Oleh karena itu media harus benar-benar dipelihara dengan menggunakan buffer (larutan penyangga). Jika enzim memiliki lebih dari satu substrat, maka pH optimumnya akan berbeda pada suatu substrat (Tranggono & Sutardi, 1990). Tiap enzim memiliki karakteristik pH optimal dan aktif dalam range pH yang



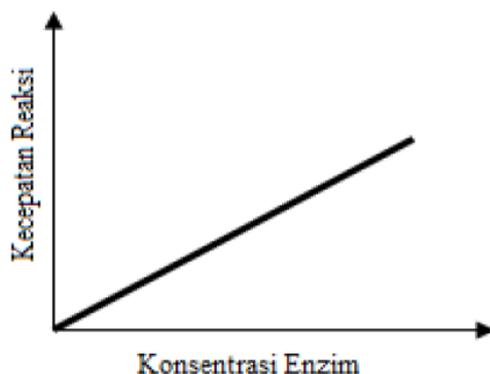
relatif kecil, dalam banyak kasus, bentuk kurva menandakan dari keaktifan enzim berbanding pH yang terkandung di dalamnya (Almet & Trevor, 1991).



Gambar 2.4. Grafik pengaruh pH terhadap Aktivitas Enzim

3) Konsentrasi Enzim, Substrat dan Kofaktor

Jika pH dan suhu suatu sistem enzim adalah konstan, dan jumlah substrat berlebihan, maka laju reaksi adalah sebanding dengan jumlah enzim yang ada. Sebaliknya jika pH, suhu dan konsentrasi enzim konstan, maka laju reaksi adalah sebanding dengan jumlah substrat. Semakin tinggi konsentrasi enzim maka kecepatan reaksi akan meningkat hingga batas konsentrasi tertentu. Namun, hasil hidrolisis substrat akan konstan dengan naiknya konsentrasi enzim. Hal ini disebabkan penambahan enzim sudah tidak efektif lagi. Hubungan antara laju reaksi enzim dengan konsentrasi enzim ditunjukkan dalam Gambar 11.5.



Gambar 2.5. Grafik pengaruh Hubungan laju reaksi dengan konsentrasi enzim



Kecepatan reaksi enzimatik pada umumnya tergantung pada konsentrasi substrat. Kecepatan reaksi akan meningkat apabila konsentrasi substrat meningkat. Peningkatan kecepatan reaksi ini akan semakin kecil hingga tercapai suatu titik batas yang pada akhirnya penambahan konsentrasi substrat hanya akan sedikit meningkatkan kecepatan reaksi.

Beberapa enzim memerlukan aktivator dalam reaksi katalisnya. Banyak enzim-enzim yang memerlukan bantuan dari komponen nonprotein untuk aktivitas katalitiknya. Komponen ini, yang disebut kofaktor, dapat berkaitan kuat dengan tempat aktif secara permanen, atau dapat juga berkaitan secara lemah dan reversibel bersama-sama dengan substrat. Kofaktor beberapa enzim adalah molekul anorganik, seperti atom logam zink, besi, dan tembaga. Jika kofaktor itu merupakan molekul organik, maka molekul itu secara lebih spesifik disebut koenzim. Sebagian besar vitamin adalah koenzim atau bahan baku untuk pembuatan koenzim tersebut. Kofaktor berfungsi dalam berbagai cara, namun dalam semua kasus, kofaktor penting bagi terjadinya katalisis.

Aktivator adalah senyawa atau ion yang dapat meningkatkan kecepatan reaksi enzimatik. Komponen kimia yang membentuk enzim disebut juga kofaktor. Kofaktor tersebut dapat berupa ion-ion anorganik seperti Zn, Fe, Ca, Mn, Cu, Mg atau dapat pula sebagai molekul organik kompleks yang disebut koenzim.

4) Inhibitor

Aktivitas suatu enzim dapat dihambat oleh suatu senyawa yang dikenal sebagai inhibitor. Senyawa kimiawi tertentu secara selektif menghambat (menginhibisi) kerja enzim spesifik. Pada umumnya cara kerja inhibitor adalah dengan menyerang sisi aktif enzim sehingga enzim tidak dapat berikatan dengan substrat sehingga fungsi katalitiknya terganggu.

Jika inhibitor berikatan dengan enzim melalui ikatan kovalen, inhibisi yang terjadi umumnya bersifat ireversibel. Akan tetapi, akan menjadi dapat balik atau reversibel jika inhibitor itu berikatan melalui ikatan lemah. Oleh karena itu, inhibitor digolongkan menjadi 2 jenis utama, yaitu: a) yang bekerja secara tidak dapat balik (*irreversible*), b) yang bekerja secara dapat balik (*reversible*). Penghambat yang *irreversible* adalah golongan yang bereaksi dengan, atau



merusakkan suatu gugus fungsional pada molekul enzim yang penting bagi aktivitas katalitiknya. Sebagai contoh, adalah senyawa diisopropilfluorofosfat (DFP), yang menghambat enzim asetilkolinesterase, yaitu enzim yang penting di dalam transmisi impuls syaraf. Asetilkolinesterase mengkatalisis hidrolisis asetilkolin, suatu senyawa neurotransmitter yang berfungsi di dalam bagian sinaps yang dihasilkan oleh ujung syaraf (akson) yang telah menerima impuls. Asetilkolin yang dihasilkan diteruskan ke sel syaraf lainnya atau ke efektor (misalnya otot) untuk meneruskan impuls syaraf. Akan tetapi, sebelum impuls kedua dapat dipancarkan melalui sinaps, asetilkolin yang dihasilkan setelah impuls pertama harus dihidrolisis oleh asetilkolinesterase pada sambungan sel syaraf.

Produk penguraian asetilkolin oleh asetilkolinesterase adalah asetat dan kolin, dan tidak memiliki aktivitas transmitter. Penghambat DFP sangat reaktif, dan bereaksi dengan bagian sisi aktif dari enzim asetilkolinesterase, yaitu gugus hidroksil dari residu serin esensial, sehingga enzim tidak aktif untuk mengkatalisis asetilkolin. DFP merupakan gas syaraf yang pertama kali ditemukan, jika diberikan pada hewan, hewan tersebut menjadi lemah, tidak dapat lagi melaksanakan fungsi bagian-bagian tertentu, karena impuls syaraf tidak lagi dapat ditransmisikan secara normal. Tetapi, terdapat manfaat lain dari DFP. Senyawa ini menyebabkan berkembangnya malation dan insektisida lain yang relatif tidak beracun bagi manusia. Malation diubah oleh enzim-enzim pada insekta, menjadi penghambat aktif asetilkolinesterase insekta tersebut.

DFP telah ditemukan menghambat semua jenis enzim, banyak diantaranya yang mampu mengkatalisis hidrolisis ikatan peptida atau ester. Golongan ini tidak hanya mencakup asetilkolinesterase, tetapi juga tripsin, khimotripsin, elastase, fosfoglukomutase, dan kokoonase, suatu enzim yang dihasilkan oleh larva ulat sutra untuk menghidrolisis serat-serat sutra kepompong, dan menyebabkan larva dapat dibebaskan. Semua enzim yang dihambat oleh DFP memiliki residu serin esensial pada sisi aktifnya, yang berpartisipasi dalam aktivitas katalitiknya.



Jenis kedua adalah, penghambat enzim yang dapat balik, yang dapat digolongkan menjadi 2 jenis, yaitu: 1) zat penghambat yang bersaing (kompetitif), 2) zat penghambat yang tidak bersaing (non-kompetitif).

Zat penghambat yang bersaing itu mempunyai struktur mirip dengan struktur molekul substrat. Suatu penghambat kompetitif berlomba dengan substrat untuk berikatan dengan sisi aktif enzim, tetapi, sekali terikat tidak dapat diubah oleh enzim tersebut. Ciri penghambat kompetitif adalah penghambatan ini dapat dihilangkan dengan meningkatkan konsentrasi substrat.

Beberapa inhibitor menyerupai molekul substrat yang normal dan bersaing untuk dapat menempati tempat aktif enzim. Senyawa yang mirip seperti ini, yang disebut inhibitor kompetitif, mengurangi produktivitas enzim dengan cara mencegah substrat untuk memasuki tempat aktif. Inhibisi seperti ini sifatnya reversibel. Hambatan ini dapat diatasi dengan cara meningkatkan konsentrasi substrat sedemikian rupa sehingga begitu tempat aktif tersedia, akan ada lebih banyak molekul substrat dibandingkan dengan molekul inhibitor di sekitarnya sehingga akan dapat memenangkan persaingan untuk memasuki tempat aktif.

Inhibitor nonkompetitif tidak secara langsung bersaing dengan substrat pada tempat aktif. Sebaliknya inhibitor ini menghambat reaksi enzimatik dengan cara berkaitan dengan bagian lain enzim itu. Interaksi ini akan menyebabkan molekul enzim itu mengubah bentuknya, yang selanjutnya membuat tempat aktif menjadi tidak reseptif terhadap substrat, atau membuat enzim itu kurang efektif dalam mengkatalisis perubahan substrat menjadi produk.

Beberapa racun yang diserap organisme dari lingkungan bekerja dengan cara menginhibisi enzim. Misalnya, pestisida DDT dan paration adalah inhibitor enzim-enzim utama dalam sistem saraf. Banyak antibiotik adalah inhibitor enzim spesifik pada bakteri. Misalnya, penisilin akan membatasi tempat aktif suatu enzim yang digunakan oleh banyak bakteri untuk membuat dinding selnya.

Dengan menyebut inhibitor enzim yang merupakan racun pada proses metabolisme, maka inhibisi enzim umumnya memberi kesan abnormal dan



berbahaya. Pada kenyataannya, inhibisi dan aktivasi enzim yang selektif oleh molekul secara alami ditemukan dalam sel merupakan mekanisme penting dalam kontrol metabolisme.

D. Aktivitas Pembelajaran

Aktivitas pembelajaran yang disarankan dalam mempelajari modul pada pelatihan GP Bagi Guru biologi SMA KK D adalah melalui diskusi kelompok, praktikum, dan mengkomunikasikan hasil analisis data yang diperoleh saat praktikum. Pada bagian E berikut ini merupakan lembar kegiatan praktikum identifikasi faktor-faktor yang mempengaruhi kerja enzim.

E. Latihan/Kasus/Tugas

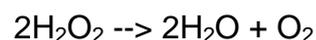
Praktik identifikasi faktor-faktor yang mempengaruhi kerja enzim

1. Pendahuluan

Enzim adalah senyawa yang dibentuk oleh sel tubuh organisme. dalam sel enzim ini diproduksi oleh organel badan mikro peroksisom. Salah satu fungsi enzim katalase adalah menguraikan Hidrogen Peroksida (H_2O_2) yang merupakan senyawa racun dalam tubuh yang terbentuk pada proses pencernaan makanan.

Hidrogen peroksida dengan rumus kimia bila H_2O_2 ditemukan oleh Louis Jacquea Thenard pada tahun 1818. Senyawa ini merupakan bahan kimia organik yang memiliki sifat oksidator kuat dan bersifat racun dalam tubuh.

Senyawa peroksida harus segera di uraikan menjadi air (H_2O) dan oksigen (O_2) yang tidak berbahaya. Enzim katalase mempercepat reaksi penguraian peroksida (H_2O_2) menjadi air (H_2O) dan oksigen (O_2). Penguraian peroksida (H_2O) ditandai dengan timbulnya gelembung



2. Tujuan

- Mengidentifikasi pengaruh pH terhadap cara kerja enzim katalase yang terdapat di ekstrak hati.



- b. Mengidentifikasi pengaruh suhu terhadap cara kerja enzim katalase yang terdapat di ekstrak hati.

3. Alat dan Bahan

- a. Tabung reaksi (5 buah)
- b. Rak tabung (1 buah)
- c. Pipet tetes (6 buah)
- d. Pembakar spiritus (1 buah)
- e. Kaki tiga dan kaca (1 buah)
- f. Lidi dan korek api (1 buah)
- g. Label kertas kecil
- h. Ekstrak hati (enzim katalase)
- i. Ekstrak wortel
- j. Hidrogen Peroksida (H_2O_2)
- k. HCl
- l. NaOH

4. Cara Kerja

- a. Beri tanda tabung reaksi dengan label yang telah dituliskan huruf A, B, C, D, dan E.
- b. Tuangkan ekstrak hati sebanyak 2 mL ke dalam masing-masing tabung A, B, C, dan D.
- c. Tuangkan larutan wortel sebanyak 2 mL ke dalam tabung E.
- d. Teteskan larutan HCl ke dalam tabung B sebanyak 10 tetes.
- e. Teteskan larutan NaOH ke dalam tabung C sebanyak 10 tetes.
- f. Panaskan tabung D di penangas air yang telah mendidih selama 2 menit.
- g. Teteskan larutan H_2O_2 masing-masing sebanyak 10 tetes ke semua tabung reaksi, kemudian langsung tutup tabung reaksi dengan jempol anda.
- h. Amati gelembung yang terjadi (sedikit, sedang, dan banyak), catat data kualitatif hasil pengamatan anda di dalam tabel.
- i. Setelah 1 menit, bukalah tutup tabung, langsung uji dengan bara api dengan cara memasukkan lidi yang membara ke dalam tabung, tetapi jangan sampai menyentuh larutan. Amati apa yang terjadi dengan bara api.



5. Data pengamatan

Tabung	Jumlah Gelembung	Keadaan Bara Api	Keterangan Lain
A			
B			
C			
D			
E			

6. Pertanyaan

- Urutkan nama tabung yang menunjukkan jumlah gelembung yang paling banyak ke paling sedikit!
- Urutkan nama tabung yang menunjukkan bara api pada lidi menyala dengan baik ke yang tidak menyala!
- Apa pengaruh penggunaan HCl, NaOH, dan panas terhadap cara kerja enzim katalase?
- Mengapa dalam percobaan ini, hati harus di buat ekstrak?
- Mengapa bahan yang digunakan dalam kegiatan ini menggunakan ekstrak hati atau wortel?
- Apa yang terjadi bila H_2O_2 tidak diuraikan dalam tubuh?
- Buatlah kesimpulan dari percobaan yang telah anda lakukan.

F. Rangkuman

Proses metabolisme meliputi seluruh proses reaksi kimia yang terjadi di dalam makhluk hidup. Seluruh reaksi metabolisme dikatalisis oleh enzim. Ciri enzim adalah kerjanya dipengaruhi oleh lingkungan. Fungsi khusus dari enzim adalah untuk menurunkan energi aktivasi, mempercepat reaksi pada suhu dan tekanan yang tetap tanpa mengubah besarnya tetapan keseimbangan dan sebagai pengendali reaksinya. Dengan adanya enzim, molekul awal yang disebut substrat akan dipercepat perubahannya menjadi molekul lain yang disebut produk. Aktivitas enzim dipengaruhi beberapa faktor, antara lain suhu, pH, konsentrasi substrat, enzim, dan kofaktor, serta inhibitor. Pada kegiatan praktikum dapat diketahui bahwa enzim katalase pada hati bekerja dengan baik pada suhu kamar dan pH normal.



G. Umpan Balik dan Tindak Lanjut

Setelah Anda menyelesaikan soal latihan di atas, Anda dapat menghitung tingkat keberhasilan Anda dengan menggunakan kunci/rambu-rambu jawaban yang terdapat pada bagian akhir modul ini. Jika Anda memperkirakan bahwa pencapaian Anda sudah melebihi 85%, silahkan terus mempelajari kegiatan Pembelajaran berikutnya. Namun jika pencapaian Anda masih kurang dari 85%, sebaiknya Anda ulangi kembali mempelajari kegiatan pembelajaran ini.



KEGIATAN PEMBELAJARAN 3: EVOLUSI

Biologi mulai mengalami kematangan pada saat Charles Darwin menerbitkan buku "*On the Origin of Species by Means of Natural Selection*". Buku tersebut menyajikan kasus-kasus yang meyakinkan tentang evolusi. Darwin menghubungkan apa yang sebelumnya dilihat sebagai kumpulan fakta membingungkan dan tidak saling terkait menjadi suatu pandangan kohesif mengenai kehidupan (Campbell, 2003). Evolusi menjelaskan sejarah keanekaragaman berbagai makhluk hidup, baik hewan, tumbuhan, fungi, protista, maupun bakteri. Bukti pendukungnya amat banyak dan berasal dari berbagai cabang biologi. Misalnya, dari hierarki taksonomi sebagaimana dikemukakan Linnaeus dan para penerusnya, fosil-fosil yang menunjukkan bahwa kehidupan di masa silam berbeda bentuknya dengan kehidupan masa sekarang, hingga bukti genetika yang menunjukkan kesamaan antarberbagai makhluk hidup. Kini evolusi bisa dikatakan telah menjadi teori sentral dalam biologi modern. Tidak salah bila ahli genetika, Theodosius Dobzhansky berkata, "*Nothing in biology makes sense except in the light of evolution*", yang artinya tidak ada di dalam biologi yang bisa dipahami kecuali dipandang dari sudut evolusi".

Sebagai suatu fakta, evolusi sebenarnya merupakan suatu hal biasa yang secara teratur dapat diamati dalam berbagai bentuk. Sebagai contoh, evolusi terjadi kapan saja, misalnya ketika terbentuk suatu spesies baru dari bakteri yang meningkatkan resistensinya terhadap antibiotika yang sebelumnya mematikan sebagian besar bakteri dari populasi tersebut (Anonim, 2008). Oleh karena implikasinya yang potensial untuk asal-usul manusia, sejak permulaan teori evolusi mempunyai banyak kontroversi sosial dan religius. Begitu juga yang terjadi dewasa ini, ada sebagian guru yang ragu ketika akan mengajarkan teori evolusi, karena ada buku yang mengatakan bahwa teori evolusi telah "runtuh".



Benarkah teori evolusi telah runtuh atau masih tetap merupakan suatu teori dasar dari cabang ilmu Biologi? Mari kita kaji dengan lebih seksama penjelasan dalam buku ini dan silakan Anda simpulkan sendiri. Diharapkan setelah membaca modul ini Anda lebih yakin tentang teori evolusi. Modul ini dirancang untuk guru, tetapi dapat digunakan oleh siswa atau siapa pun yang menginginkan untuk belajar tentang proses mengagumkan dari kehidupan.

A. Tujuan

Setelah mengikuti kegiatan pembelajaran dengan modul ini diharapkan Anda dapat:

1. Mendeskripsikan teori dan prinsip evolusi.
2. Menganalisis mekanisme dan bukti evolusi berdasarkan studi literatur.
3. Memahami kesalahpahaman yang terjadi dalam teori evolusi.

B. Indikator Ketercapaian Kompetensi

Indikator pencapaian kompetensi yang diharapkan dicapai peserta melalui diklat ini adalah mampu:

1. Menjelaskan pengertian evolusi.
2. Membandingkan konsep teori evolusi mulai jaman Pra-Darwinisme, jaman Darwinisme, dan jaman Post-Darwinisme
3. Menjelaskan prinsip-prinsip evolusi.
4. Membandingkan mekanisme evolusi yang disebabkan oleh seleksi alam, hanjutan genetik (*Genetic Drift*), aliran gen (*gene flow*), mutasi, dan perkawinan tidak acak.
5. Mengidentifikasi bukti-bukti evolusi mulai dari sisa organisme masa lampau sampai dengan genetika modern.
6. Menjelaskan beberapa kesalah pahaman yang terjadi dalam teori evolusi.

C. Uraian Materi

Evolusi merupakan kata yang berasal dari bahasa latin yang artinya "membuka gulungan" atau "membuka lapisan". Kemudian bahasa itu diserap menjadi bahasa inggris *evolution* yang berarti perkembangan secara bertahap. Di dalam biologi, pengertian evolusi telah mengalami perkembangan, menurut Darwinisme: Evolusi adalah perubahan bertahap pada rentang waktu yang



sangat panjang (makro evolusi). Dengan berkembangnya genetika molekuler, para ilmuwan mengembangkan teori evolusi komprehensif yang menggabungkan Darwinisme dengan Mendelisme yang selanjutnya dikenal sebagai sintesis modern (*modern synthesis*). Menurut sintesis modern: evolusi adalah perubahan frekuensi alel dari suatu populasi persatuan waktu (mikro evolusi) (Iskandar, 2008).

Disebut sebagai sintesis, karena teori ini memadukan penemuan-penemuan dan ide dari berbagai bidang yang berbeda, yang meliputi paleontologi, taksonomi, biogeografi, dan genetika populasi. Di antara arsitek sintesis modern terdapat ahli genetika Theodosius Dobzhansky, ahli biogeografi, dan ahli taksonomi Ernst Mayr, ahli paleontologi George Gaylord Simpson, dan ahli Botani G. Ledyard Stebbins. Sintesis modern menekankan arti penting populasi sebagai unit evolusi, peran sentral seleksi alam sebagai mekanisme terpenting dalam evolusi, dan ide tentang gradualisme untuk menjelaskan bagaimana perubahan besar (spesiasi) dapat berkembang sebagai suatu akumulasi perubahan kecil (perubahan frekuensi alel) yang terjadi selama periode waktu yang panjang (Campbell, 2003). Biologi abad ke-20 telah dipengaruhi begitu dalam oleh sintesis modern, yang telah membentuk sebagian besar ide tentang bagaimana populasi berkembang dan berevolusi.

Evolusi pada akhirnya adalah suatu proses penciptaan keanekaragaman makhluk hidup. Seperti halnya dikemukakan Vyrba guru besar Paleontologi dan Biologi Yale University, bahwa bukti terbaik untuk evolusi adalah adanya keanekaragaman organisme hidup, penyebaran karakteristik di antara spesies, dan pola hirarki keanekaragaman. Dari waktu ke waktu, spesies baru berkembang dari spesies yang ada melalui spesiasi, dan spesies lain punah, menghasilkan perubahan yang terus menerus dalam dunia biologi yang dicerminkan dalam rekaman fosil. Sekitar 99% dari semua spesies yang pernah hidup di Bumi ini sudah punah (Campbell, 2003).

Teori evolusi menjelaskan bagaimana terjadinya proses perubahan pada makhluk hidup yang menyimpang dari struktur awal dalam jumlah yang banyak dan beraneka ragam sehingga kemudian menyebabkan terjadinya dua kemungkinan. Pertama, makhluk hidup yang berubah akan mampu bertahan dan tidak punah atau disebut juga dengan istilah evolusi progresif. Sedangkan kemungkinan atau



opsi yang kedua adalah makhluk hidup yang berubah atau berevolusi tapi gagal bertahan hidup dan akhirnya punah atau disebut dengan evolusi regresif. Menurut Teilhard de Chardin proses evolusi dibedakan menjadi 3 tahap, seperti berikut ini.

1. Tahap Geosfer

Tahap pra-hidup, tahap perubahan yang terutama menyangkut perubahan tata surya.

2. Tahap Biosfer

Kalau pada tahap geosfer yang menjadi masalah adalah adanya "loncatan" dari materi tak hidup menjadi materi hidup, maka pada tahap biosfer yang dimasalahkan adalah "loncatan" munculnya manusia.

3. Tahap Nesosfer

Pada tahap ini yang penting pada makhluk hidup dalam hal ini manusia adalah terjadi evolusi kesadaran batin yang semakin mantap. Dengan cara menghubungkan keanekaragaman kehidupan dengan mekanisme penyebab alaminya, Darwin memberikan suatu dasar ilmiah yang jelas bagi ilmu biologi. Namun demikian, produk evolusi yang beraneka ragam sungguh sangat elok dan mengilhami banyak pemikiran. Sebagaimana yang dikatakan Darwin dalam alinea penutup bukunya *The Origin of Species*, "Ada keagungan dalam kehidupan dilihat dari sudut pandang ini".

2. Perkembangan Teori Evolusi

Gagasan tentang evolusi biologi sudah ada sejak zaman dahulu, khususnya di antara ahli filsafat Yunani seperti Anaximander dan Epicurus serta ahli filsafat India seperti Patanjali. Namun, teori ilmiah evolusi belum mapan sampai abad ke 18 dan 19. Pemahaman modern tentang evolusi didasarkan pada teori seleksi alam, yang pertama kali diperkenalkan dalam karya ilmiah bersama antara Charles Darwin dan Alfred Russel Wallace pada tahun 1858, dan dipopulerkan di dalam buku Darwin "*The Origin of Species*" pada tahun 1859. Pada tahun 1930 an, para ilmuwan mengkombinasikan seleksi alam Darwinian dengan teori dari hereditas Mendelian untuk membentuk sintesis evolusi modern, yang juga dikenal sebagai "Neo-Darwinism". Berikut ini dikemukakan beberapa tokoh yang berperan dalam pengembangan teori evolusi.



a. Aristoteles (Teori Statis)

Menurut Aristoteles, semua bentuk kehidupan dapat disusun dalam suatu skala atau tangga dengan tingkat kerumitan yang semakin tinggi, idenya ini dikenal sebagai 'skala alam' atau *scale of nature*. Aristoteles berargumentasi bahwa setiap spesies mempunyai wujud yang unik dan bisa digolongkan dari karakteristik-karakteristik kuncinya. Di dalam prosesnya, Aristoteles mengorganisasikan makhluk hidup dalam suatu hirarki seperti tangga, dengan tumbuhan ditempatkan di bagian bawah, hewan ditempatkan di pertengahan, dan manusia ditempatkan paling atas. Pada masa itu diyakini bahwa spesies itu bersifat permanen (Fixisme) di mana organisme-organisme satu spesies adalah identik, sempurna dan tidak berkembang. Kelainan pada suatu organisme adalah dosa atau hukuman, manusia pasrah kepada alam, ilmu pengetahuan belum berkembang, sehingga kreasionisme (penciptaan) merupakan satu-satunya jawaban.

Tabel 3.1. Hubungan waktu geologis dengan keanekaragaman organisme
Sumber: Campbell, 2003.

ZAMAN (ERA)	MASA (PERIOD)	KURUN	UMUR (JUTAAN TAHUN SILAM)	BEBERAPA PERISTIWA PENTING DALAM SEJARAH KEHIDUPAN
SENOZOIKUM (Cenozoic)	Kuartener	Baru-baru ini	0.01	Waktu sejarah
		Pleistosen	1.8	Zaman es, munculnya manusia
	Tersier	Pliosen	5	Munculnya nenek moyang manusia yang mirip kera
		Miosen	23	Penyebaran hewan dan angiosperma berlanjut terus
		Oligosen	35	Kemunculan banyak kelompok primata, termasuk kera
		Eosen	57	Dominansi angiosperma meningkat, kemunculan sebagian besar ordo mamalia modern
		Paleosen	65	Radiasi utama mamalia, burung dan serangga penyerbuk
MESOZOIKUM (Mesozoic)	Kretaseus (cretaceous)		145	Tumbuhan berbunga (Angiosperma) muncul, banyak kelompok organisma termasuk sebagian besar



ZAMAN (ERA)	MASA (PERIOD)	KURUN	UMUR (JUTAAN TAHUN SILAM)	BEBERAPA PERISTIWA PENTING DALAM SEJARAH KEHIDUPAN
				garisketurunan dinosaurus menjadi punah pada akhir periode ini. (kepunahan pada masa kretaseus).
	Jura (Jurassic)		208	Tumbuhan gimnosperma masih dominan, dinosaurus dominan.
	Trias (Triassic)		215	Tumbuhan gimnosperma mendominasi daratan, radiasi dinosaurus, mamalia awal, dan burung-burung.
PALEOZOIKUM (Paleozoic)	Permium (Permian)		290	Kepunahan banyak organisme laut dan darat. (kepunahan pada masa permium), radiasi reptilia, kemunculan reptilia yang mirip mamalia dan sebagian besar ordo modern.
	Karboniferus (Carboniferous)		300	Hutan yang luas dengan tumbuhan vaskuler, tumbuhan berbiji pertama, kemunculan reptilia, amfibi dominan.
	Devon (Devonian)		409	Diversifikasi ikan bertulang; amfibia dan serangga pertama.
	Silur (Silurian)		430	Diversifikasi ikan tak berahang; ikan berahang pertama, kolonisasi daratan oleh tumbuhan vaskuler dan artropoda.
	Ordovisium (Ordovician)		510	Kemunculan tumbuhan; alga laut berlimpah.
	Kambrium (Cambrian)		570	Asal mula sebagian besar filum hewan modern (Ledakan pada masa kambrium).
PRAKAMBRIUM (Precambrian)			610	Beranekaragam hewan invertebrata berbadan lunak; vertebrata pertama; beranekaragam alga.
			700	Fosil hewan tertua
			1700	Fosil eukariota tertua
			2500	Oksigen mulai menumpuk di atmosfer
			3500	Fosil tertua yang diketahui (prokariota)
			4600	Perkiraan waktu



ZAMAN (ERA)	MASA (PERIOD)	KURUN	UMUR (JUTAAN TAHUN SILAM)	BEBERAPA PERISTIWA PENTING DALAM SEJARAH KEHIDUPAN
				permulaan bumi.

b. Carolus Linnaeus (Penggagas Taksonomi)

Carolus Linnaeus (1707-1798) adalah pemikir pertama yang lebih jauh lagi mencoba untuk menggolongkan makhluk hidup. Beliau mengembangkan sistem dua bagian atau Binomial untuk menamai organisme menurut genus dan spesies. Linnaeus mengelompokkan spesies berdasarkan tingkat kemiripan. Spesies yang mirip satu sama lain dikelompokkan ke dalam genus yang sama, genus yang mirip dikelompokkan pada famili yang sama dan seterusnya. Bagi Linnaeus, pengelompokkan spesies yang mirip dalam satu kelompok tidak mengimplikasikan adanya pertalian keluarga menurut garis evolusi, tetapi seabad kemudian sistem taksonominya ternyata menjadi titik fokus pendapat Darwin tentang evolusi. Sistem klasifikasi biologi modern, menunjukkan bahwa seluruh dunia kehidupan dapat diatur dalam hierarki yang apabila digambarkan dalam bentuk diagram, menyerupai silsilah. Setelah Linnaeus, para naturalis sering menanggapi bahwa makhluk hidup saling 'berkerabat' namun mereka belum tahu apa penyebabnya.

c. James Hutton (Teori Gradualisme)

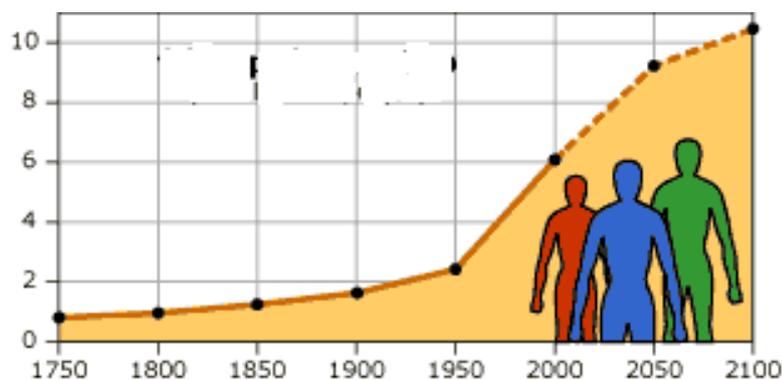
Pada tahun 1795 James Hutton ahli geologi Skotlandia menjelaskan sifat dan ciri geologis Bumi dengan teori gradualisme (secara bertahap), yang menganggap bahwa perubahan mendalam dan nyata dari ciri dan sifat geologis Bumi merupakan produk kumulatif proses yang berlangsung lambat namun berlangsung terus menerus. Misalnya tebing terbentuk oleh sungai yang memotong bebatuan.

d. Thomas Malthus (Pertumbuhan Populasi versus Persediaan Makanan)

Thomas Malthus (1766-1834) mempunyai tempat khusus dalam sejarah biologi, meskipun dia bukan ahli biologi tetapi seorang ahli ekonomi politik. Malthus



menjadi terkenal pada tahun 1798 ketika dia menerbitkan sebuah essay yang berjudul "*The Principle of Population as it affects the Future Improvement of Society*". Di dalamnya, Malthus mengangkat keraguan-keraguan tentang apakah suatu bangsa bisa menjangkau suatu titik di mana hukum tidak lagi diperlukan, dan setiap orang hidup dengan makmur dan harmonis. Menurut Malthus diperlukan perjuangan yang keras untuk mempertahankan eksistensi manusia, karena potensi pertumbuhan populasi manusia seperti deret geometri (kelipatan 2) sedangkan kemampuan untuk menyediakan makanan dan sumber daya lainnya seperti deret aritmetik (deret hitung), lihat gambar 3.1. Sebagai akibatnya, cepat atau lambat akan terjadi perbenturan antar anggota populasi dalam pemanfaatan sumber daya khususnya bila ketersediaannya terbatas. Hanya sebagian, seringkali merupakan bagian kecil, dari keturunannya yang akan bertahan hidup: sementara sebagian lainnya akan tereliminasi. Satu-satunya alasan bahwa umat manusia tidak ada dalam kondisi kelaparan yang terus menerus karena pertumbuhannya secara terus menerus dibatasi dengan kekuatan seperti wabah penyakit, peperangan, atau penundaan pernikahan sampai usia dewasa. Malthus menunjukkan bahwa kekuatan yang sama dari fertilitas dan kelaparan yang membentuk umat manusia juga bekerja pada hewan dan tumbuhan. Darwin mengadaptasikan gagasan Malthus kepada teori evolusinya, bahwa untuk mempertahankan dirinya, manusia harus berkembang untuk menyesuaikan diri seperti umumnya hewan yang lain.



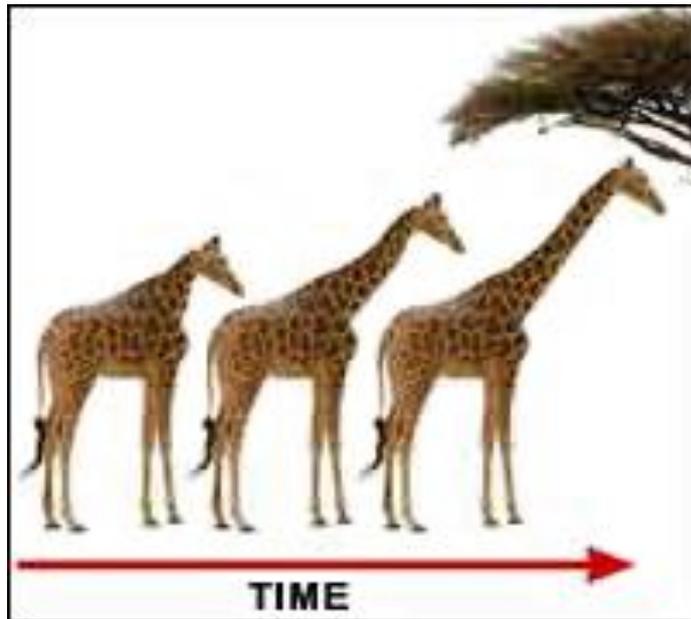
Gambar 3.1. Pertumbuhan Populasi Manusia (dalam hitungan miliar orang)
Sumber : <http://evolution.berkeley.edu/evolibrary/>



Gambar diatas menunjukkan bahwa antara tahun 1800 dan 2000 populasi manusia meningkat enam kali lipat. Adakah langkah-langkah untuk menjaga ketersediaan makanan? Akankah di sana ada makanan yang cukup untuk mendukung populasi manusia yang diproyeksikan menjadi 92 milyar di tahun 2050?

e. Jean Baptiste de Lamarck (Teori Dinamis)

Ilmuwan pertama yang mengajukan suatu model komprehensif tentang terjadinya perubahan terhadap makhluk hidup seiring dengan waktu sebagai akibat dari pengaruh lingkungan adalah seorang naturalis dari Perancis yang bernama Jean B. Lamarck. Dia bekerja dalam klasifikasi cacing, laba-laba, moluska (hewan bertubuh lunak seperti keong), dan makhluk-makhluk tanpa tulang belakang lainnya. Lamarck melihat adanya kesamaan-kesamaan dari hewan-hewan yang dia pelajari, dan sangat terkesan oleh perkembangan rekaman fosil. Hal itu mendorong dia untuk berpikir bahwa kehidupan itu tidak tetap. Ketika lingkungan berubah, organisme harus mengubah perilaku mereka (adaptasi) untuk bertahan hidup. Ide pokok Lamarck adalah bahwa bagian-bagian tubuh yang lebih banyak digunakan (*use*) untuk menghadapi lingkungan akan menjadi lebih besar dan kuat, sedangkan bagian-bagian tubuh yang tidak digunakan (*disuse*) akan mengalami penurunan. Modifikasi yang didapatkan oleh suatu organisme selama masa hidupnya dapat diturunkan kepada keturunannya. Jadi, penekanan teori Lamarck adalah bahwa adaptasi terhadap lingkungan merupakan produk utama evolusi, perhatikan Gambar 3.2.



Gambar 3.2. Lamarck percaya bahwa leher jerapah yang panjang berkembang dari generasi-generasi jerapah yang memanjangkan lehernya untuk mencapai daun-daun yang lebih tinggi
(sumber: <http://evolution.berkeley.edu/evolibrary/>)

f. Charles Lyell (Teori Uniformitarianisme/Keseragaman)

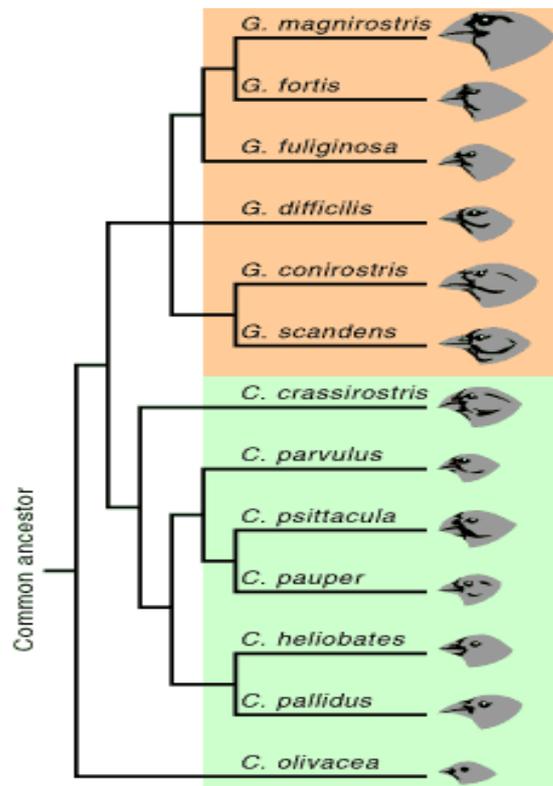
Teori Hutton tentang gradualisme selanjutnya dipadukan oleh Charles Lyell (1797-1875) dalam suatu teori yang dikenal dengan nama Uniformitarianisme. Teori ini menyatakan bahwa proses geologis masih belum berubah sepanjang sejarah Bumi ini. Dengan demikian, gaya yang bekerja saat ini dalam membentuk ciri geologis Bumi sama besarnya dengan gaya di masa silam (Gambar 3.3). Teori gradualisme dan uniformitarianisme ini juga menjadi dasar pemikiran evolusi Darwin. Pertama, jika perubahan geologis merupakan akibat dari kerja yang lambat namun terus menerus dan bukan akibat dari kejadian yang tiba-tiba maka bumi pasti sudah sangat tua. Kedua, proses yang sangat lambat namun sangat halus yang bertahan selama periode yang sangat panjang dapat menyebabkan perubahan yang cukup besar.



Gambar 3.3. Lyell menemukan bukti bahwa lembah-lembah dibentuk melalui proses yang lambat dari erosi, bukan oleh karena malapetaka banjir.
(sumber <http://evolution.berkeley.edu/evolibrary/>)

g. Charles Darwin (Teori Evolusi, Seleksi Alam)

Darwin adalah seorang naturalis Inggris yang mengikuti eksplorasi kapal *HMS Beagle* untuk membuat peta pelabuhan dunia pada tahun 1831. Di sepanjang perjalanan inilah (selama lima tahun, yaitu dari 27 Desember 1831 hingga 2 Oktober 1836) dia meneliti berbagai jenis hewan dan tumbuhan yang dijumpainya. Darwin menggambar dan menulis tentang apa yang dia lihat, mengirim banyak spesimen ke Inggris, dan mengembangkan gagasan tentang hidup, kehidupan di masa lampau dan bagaimana caranya berubah menjadi seperti sekarang. Darwin berada di Kepulauan Galapagos selama kurang lebih 2 bulan dan melakukan berbagai pengamatan terhadap berbagai jenis hewan yang ada di kepulauan terpencil itu (Gambar 3.4.). Melalui pengamatan ini, dan juga berbagai pengamatan lanjutan yang dilakukannya selama puluhan tahun atas koleksi hewan dan tumbuhan yang diperolehnya, Darwin membentuk embrio teori evolusi. Pada tahun 1859, Darwin menerbitkan buku "*On the Origin of Species by means of Natural Selection*", yang menyajikan bukti-bukti yang menunjukkan bahwa kehidupan telah berevolusi sepanjang sejarahnya dan bahwa mekanisme yang menyebabkan terjadinya evolusi adalah *seleksi alam*.



Gambar 3.4. Di pulau Galapagos Darwin menemukan 13 spesies burung Finch (*Geospiza sp*) yang beradaptasi dengan relung lingkungan yang berbeda. Burung-burung tersebut berbeda dalam bentuk paruh, sumber makanan, dan cara memperoleh makanan. (<http://evolution.berkeley.edu/evolibrary/>)

Ahli Biologi evolusi Ernst Mayr menguraikan logika teori seleksi alam Darwin menjadi tiga inferensi (kesimpulan) berdasarkan lima pengamatan (Campbell, 2003), yaitu sebagai berikut:

Observasi 1: Semua spesies memiliki potensi fertilitas yang sedemikian besar sehingga jumlah populasinya akan meningkat secara eksponensial jika semua individu yang dilahirkan berhasil bereproduksi dengan baik.

Observasi 2: Populasi cenderung menjadi stabil dalam jumlah, kecuali ada fluktuasi musiman.

Observasi 3: Sumber daya lingkungan adalah terbatas.

Kesimpulan 1: Pertambahan individu yang lebih banyak dibandingkan dengan yang dapat didukung oleh lingkungan akan mengakibatkan adanya persaingan



untuk mempertahankan keberadaan individu di dalam populasi itu, sehingga hanya sebagian keturunan yang dapat hidup pada setiap generasi.

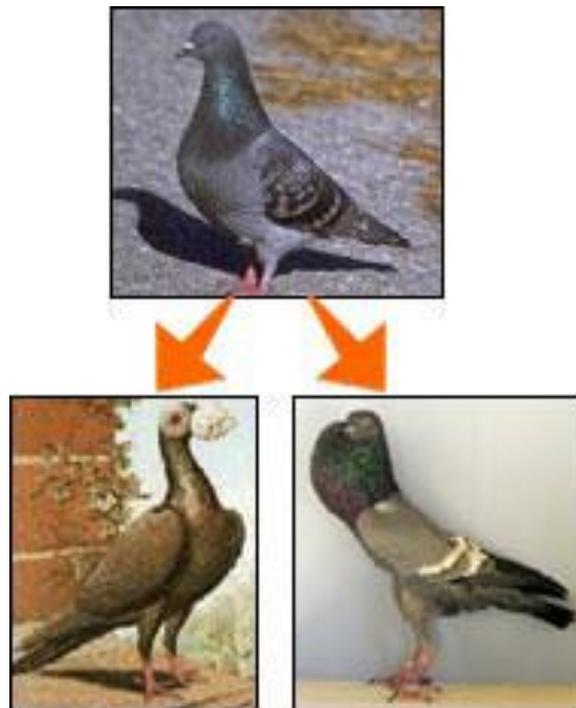
Observasi 4: Individu-individu dalam suatu populasi sangat jauh berbeda dalam hal ciri-ciri khasnya; tidak akan ada dua individu yang persis sama.

Observasi 5: Banyak di antara variasi tersebut dapat diturunkan.

Kesimpulan 2: Kelangsungan hidup dalam perjuangan untuk mempertahankan hidup tidak terjadi secara acak, tetapi bergantung sebagian pada susunan sifat yang diwarisi dari individu-individu yang bertahan hidup. Individu yang mewarisi sifat baik yang membuat individu tersebut cocok dengan lingkungannya besar kemungkinan akan menghasilkan lebih banyak keturunan dibandingkan dengan individu yang kurang cocok sifatnya terhadap lingkungan.

Kesimpulan 3 : Kemampuan individu yang tidak sama untuk bertahan hidup dan bereproduksi ini akan mengakibatkan suatu perubahan secara bertahap dalam suatu populasi dan sifat-sifat menguntungkan akan berakumulasi sepanjang generasi.

Di samping itu Darwin juga menemukan bukti terjadinya seleksi alam pada seleksi tiruan (*artificial selection*) seperti ditunjukkan pada gambar 3.5.



Gambar 3.5. Merpati pos (bawah kiri) dan Brunner pouter (bawah kanan) berasal dari merpati batu karang yang liar (atas)
(sumber: <http://evolution.berkeley.edu/evolibrary/>)

h. Alfred Russel Wallace (Teori Evolusi: Seleksi Alam)

Wallace adalah seorang naturalis Inggris yang hidup semasa dengan Darwin. Wallace secara terpisah juga mengembangkan teori seleksi alam yang pada dasarnya sama dengan yang dikemukakan oleh Darwin. Darwin dan Wallace cukup lama berkorespondensi secara ilmiah. Wallace malah banyak mengirim spesies-spesies penemuan barunya dari Asia ke Darwin untuk diteliti. Menurut Wallace, teorinya tentang evolusi hasil pemikiran yang datang secara spontan. Di lain pihak, teori evolusi Darwin adalah hasil pemikiran secara metodis selama bertahun-tahun. Ironisnya, Darwin menjadi jauh lebih terkenal daripada Wallace sendiri. Namun demikian, Wallace adalah salah satu pembela Darwin dan teorinya dimasa kontroversial setelah buku "The Origin of Species" diterbitkan.

Walaupun ide evolusi (bahwa makhluk hidup secara berangsur-angsur berubah) telah didiskusikan jauh sebelum abad ke-19, Darwin dan Wallace adalah orang yang pertama mencetuskan bagaimana proses evolusi itu berlangsung.



i. Gregor Johann Mendel (Teori Genetika)

Mendel adalah seorang pendeta dan ilmuwan dari Austria yang mempelajari ilmu keturunan. Dengan mengobservasi kacang polong (*Pisum sativum*) selama bertahun-tahun, Mendel mengambil kesimpulan bahwa ada suatu pola dalam pewarisan sifat keturunan. Hasil penyelidikan Mendel menjadi dasar ilmu genetika.

Walaupun sebagian besar ilmuwan Biologi dapat diyakinkan Darwin bahwa spesies merupakan hasil evolusi, namun ada permasalahan mengenai ide seleksi alam sebagai mekanisme evolusi. Ada kekurangan dalam penjelasan Darwin, yaitu pemahaman pewarisan yang dapat menjelaskan bagaimana variasi acak muncul dalam suatu populasi. Padahal Gregor Mendel dan Charles Darwin hidup pada masa yang sama, namun tidak ada yang dapat melihat dan menyadari bahwa Mendel telah menemukan prinsip dasar pewarisan yang sudah pasti dapat menyelesaikan permasalahan Darwin dan memberikan kredibilitas terhadap seleksi alam.

j. Evolusi Modern (Neo-Darwinisme)

Sintesis evolusi modern mengacu pada satu set gagasan dari beberapa spesialis biologi yang bersama-sama membentuk suatu teori evolusi komprehensif yang diterima oleh mayoritas ahli biologi. Sintesis ini dibentuk sekitar tahun 1936-1947 dengan mengembangkan genetika populasi yang merupakan integrasi antara seleksi alam Darwin dengan genetika Mendel. Huxley Julian menemukan istilah ini pada tahun 1942, ketika ia meringkas gagasan-gagasan di dalam bukunya, *Evolution: Modern Synthesis*. Meskipun sekarang Sintesis Modern merupakan dasar pemikiran evolusi, teori ini mengacu kepada suatu peristiwa historis yang terjadi sekitar tahun 1930 dan 1940. Tokoh utama yang mengembangkan sintesis modern di antaranya R.A. Fisher, Theodosius Dobzhansky, J.B.S. Haldane, Sewall Wright, Julian Huxley, Ernst Mayr, Bernhard Rensch, Sergei Chetverikov, George Gaylord Simpson, dan G. Ledyard Stebbins. Sintesis evolusi modern dikenal juga sebagai sintesis baru, sintesis modern, sintesis evolusi, atau neo-Darwinisme.

Pada tahun 1940, berdasarkan eksperimen Griffith Avery, McCleod dan McCarty secara pasti mengenali DNA (*deoxyribonucleic acid*) sebagai agen yang



bertanggung jawab untuk meneruskan informasi genetika. Sejak tahun 1940, suatu teori evolusi baru muncul yang menyebutkan bahwa perubahan evolusioner terjadi secara cepat antara periode panjang dari stabilitas spesies. Teori ini dikenal sebagai "*punctuated evolution*" yang merupakan teori evolusi yang paling akhir dan dikemukakan oleh Stephen Jay Gould dan Niles Eldredge. Penemuan mereka tentang bagaimana hereditas bekerja via DNA merupakan penjelasan yang lebih tepat tentang mekanisme evolusi.

Walter S. Sutton, Theodor Boveri, Wilhelm Johannsen, Thomas Hunt Morgan, and Hermann Muller telah menyelidiki hubungan yang kompleks antara kromosom, gen, dan hukum-hukum hereditas. Ahli Biometrik seperti Ronald Fisher, John Haldane, dan Reginald Crundall Punnett telah menggunakan matematika dan teknik statistika untuk menganalisis perubahan genetik dengan demikian menetapkan bidang genetika populasi. Julian Huxley, cucu dari T. H. Huxley, memberikan kontribusi penting untuk bidang embriologi, antar bidang-bidang yang lain. Paleontologis George Simpson memfokuskan penelitiannya pada pola migrasi antar benua dari spesies masa lampau. James Watson dan Francis Crick memperkenalkan model DNA untuk menjelaskan dasar kimia dari gen, hereditas, dan evolusi.

Sintesis modern menguraikan evolusi sebagai suatu perubahan di dalam frekuensi alel dalam suatu populasi dari satu generasi ke generasi berikutnya. Teori ini sekarang menjadi pusat prinsip pengaturan dari biologi modern, yang berhubungan secara langsung dengan topik-topik seperti asal-usul resistensi antibiotika pada bakteri, sosialitas pada serangga, dan keanekaragaman hayati dari kehidupan di Bumi. Pengembangan terbaru yang paling penting dalam biologi evolusi adalah meningkatnya pemahaman dan kemajuan genetika.

Jika menurut Darwin mekanisme evolusi itu terjadi karena seleksi alam, maka menurut Sintesis Modern, evolusi terjadi tidak hanya karena seleksi alam tetapi juga disebabkan oleh hanjutan/pergeseran genetik (*genetic drift*), aliran gen (*gene flow*), mutasi, dan perkawinan tidak acak.

3. Prinsip-Prinsip Evolusi

Berikut ini adalah prinsip-prinsip yang bekerja ketika proses evolusi terjadi.



- a. Pada satu waktu evolusi terjadi lebih cepat dari yang lainnya. Bentuk baru muncul dan bentuk lama punah.
- b. Laju kecepatan evolusi tidak sama pada organisme yang berbeda.
- c. Spesies baru bukan merupakan bentuk yang paling sempurna tapi bentuk yang sudah terspesialisasi.
- d. Evolusi tidak selalu dari yang sederhana ke kompleks.
- e. Evolusi terjadi dalam populasi bukan dalam individu.

4. Mekanisme Evolusi

Titik balik yang menentukan perkembangan dalam teori evolusi adalah kelahiran cabang ilmu biologi baru, yaitu Genetika Populasi. Ilmu ini menunjukkan tentang luasnya variasi genetik di dalam populasi dan mengenali arti penting dari perubahan sifat-sifat yang terakumulasi dari generasi ke generasi. Untuk memahami hubungan genetika populasi dengan evolusi, mari kita mulai dengan konsep spesies. Spesies adalah sekelompok individu sejenis yang mempunyai potensi untuk saling mengawini dan menghasilkan keturunan yang fertil di alam bebas. Sekelompok spesies yang hidup pada tempat dan waktu yang sama disebut populasi. Evolusi terjadi ketika ada perubahan di dalam struktur genetika dari suatu populasi. Untuk memahami bagaimana suatu populasi berubah, para ahli biologi mempelajari jenis dan jumlah gen dari suatu populasi. Kumpulan gen (*gene pool*) adalah seluruh alela dari seluruh gen yang terdapat dalam seluruh individu dari suatu populasi pada suatu periode tertentu. Proporsi relatif alela dalam suatu populasi dinyatakan dengan frekwensi alela. Struktur genetik suatu populasi ditentukan oleh frekuensi alel dan genotipnya.

Menurut teorema Hardy-Weinberg "frekuensi alel dan genotip dalam kumpulan gen suatu populasi tetap konstan selama beberapa generasi kecuali kalau ada yang bertindak sebagai agen lain selain rekombinasi seksual". Teorema Hardy-Weinberg menjelaskan suatu kumpulan gen yang berada dalam suatu kesetimbangan, yaitu suatu populasi yang tidak berevolusi. Nilai kesetimbangan dari frekuensi alel dan genotip yang dihitung berdasarkan persamaan Hardy-Weinberg memberikan dasar untuk melacak struktur genetik suatu populasi selama beberapa generasi. Jika frekuensi alel atau genotipnya menyimpang dari nilai yang diharapkan dari kesetimbangan Hardy-Weinberg, maka populasi



tersebut dinyatakan sedang berevolusi. Dengan demikian, definisi evolusi pada tingkat populasi dapat dinyatakan sebagai "perubahan frekuensi alel atau genotip populasi dari generasi ke generasi" atau "perubahan dalam struktur genetik populasi". Karena perubahan dalam suatu kumpulan gen itu adalah evolusi dalam skala terkecil, maka keadaan ini secara khusus disebut sebagai mikroevolusi.

Kesetimbangan Hardy-Weinberg hanya dapat dipertahankan jika:

- a. Ukuran populasi sangat besar. Dalam populasi yang besar, hanjutan/pergeseran genetik (*genetic drift*) yang merupakan fluktuasi acak dalam kumpulan gen tidak akan mengubah frekuensi alel.
- b. Terisolasi dari populasi lain. Pada populasi yang terisolasi tidak akan ada aliran gen (perpindahan alel antar populasi akibat perpindahan individu atau gamet) yang dapat mengubah kumpulan gen.
- c. Tidak ada mutasi. Pengubahan satu alel menjadi alel lain akibat mutasi akan mengubah frekuensi alel dan genotip suatu populasi.
- d. Perkawinan acak. Dengan perkawinan acak frekwensi alel dan genotip akan mengikuti hukum pewarisan sifat Mendel, sehingga frekwensi alel dan genotip dapat dipertahankan tetap.
- e. Tidak ada seleksi alam. Jika potensi kelangsungan hidup dan keberhasilan reproduksi pada semua individu sama, maka frekwensi alel dan genotip akan tetap dari generasi ke generasi.

Kelima syarat yang diperlukan untuk mempertahankan kesetimbangan Hardy-Weinberg memberikan suatu *framework* untuk memahami mekanisme evolusi. Seperti telah dikemukakan di atas evolusi akan terjadi jika salah satu syarat tidak terpenuhi. Dengan demikian mekanisme dasar yang menyebabkan proses evolusi adalah seleksi alam, hanjutan/pergeseran genetik (*genetic drift*), aliran gen (*gene flow*), mutasi, dan perkawinan tidak acak. Berikut ini akan dikemukakan penjelasan mekanisme evolusi oleh masing-masing agen penyebab evolusi.

a. Seleksi Alam

Jika kita lihat populasi-populasi makhluk hidup di alam, maka kita akan menemukan bahwa setiap populasi terdiri atas individu-individu yang bervariasi.



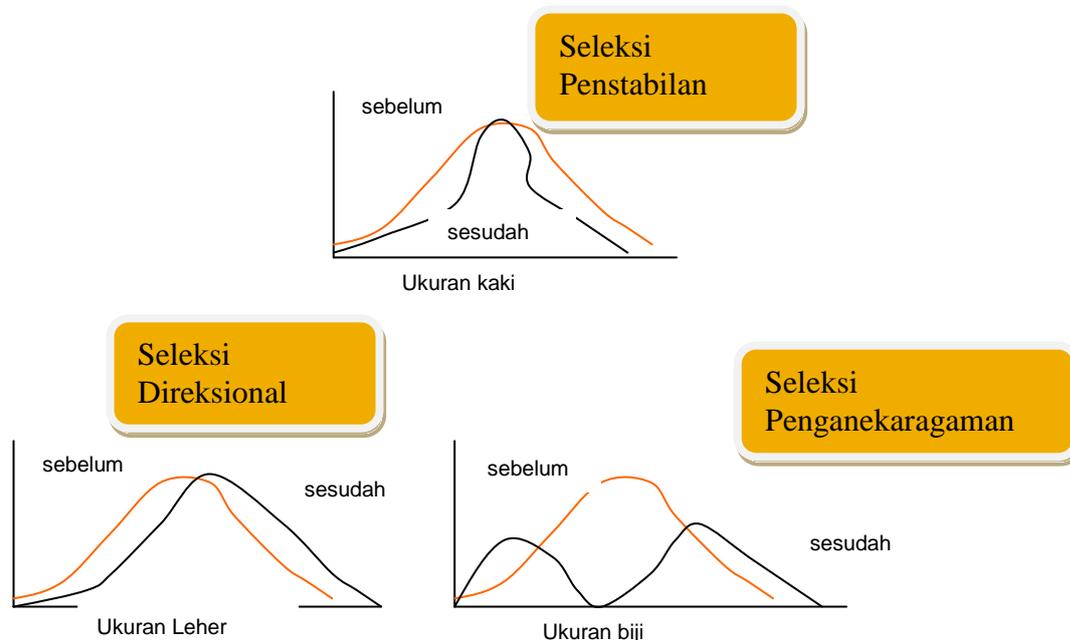
Beberapa varian mungkin menghasilkan lebih banyak keturunan dibanding yang lain. Keberhasilan yang berbeda dalam reproduksi ini adalah seleksi alam. Tentunya hal ini dipengaruhi oleh kemampuan individu yang tidak sama untuk bertahan hidup dan berproduksi. Menurut *The American Heritage Science Dictionary*, seleksi alam adalah suatu proses di mana organisme-organisme yang lebih baik penyesuaiannya terhadap lingkungan akan menghasilkan keturunan yang lebih banyak dibanding yang lain. Sebagai hasil dari seleksi alam, proporsi organisme suatu spesies dengan karakteristik yang bersifat adaptif terhadap lingkungan akan meningkat pada masing-masing generasi. Oleh karena itu, seleksi alam secara acak memodifikasi variasi asal dari ciri-ciri genetik suatu spesies sehingga alel-alel yang bersifat menguntungkan karena survive akan mendominasi, sedangkan alel-alel yang tidak menguntungkan akan berkurang. Menurut *Merriam-Webster's Medical Dictionary*, seleksi alam adalah suatu proses alami yang akan menghasilkan individu yang *survive* atau kelompok terbaik yang sesuai dengan kondisi di mana mereka hidup dan ini sama pentingnya untuk mengabadikan kualitas genetik yang diinginkan dan untuk menghapus gen yang tidak diinginkan sebagai hasil dari rekombinasi atau mutasi gen.

Seleksi alam mengakibatkan alel diturunkan ke generasi berikutnya dalam jumlah yang tidak proporsional dengan frekuensi relatif generasi saat itu, sehingga mengubah kumpulan gen. Seleksi alam mengakumulasi dan mempertahankan genotip yang menguntungkan dalam suatu populasi. Pengaruh seleksi alam dalam penurunan frekuensi suatu sifat dalam suatu populasi berlangsung dengan tiga cara sebagai berikut:

1. Seleksi penstabilan (*stabilizing selection*), bekerja terhadap fenotip ekstrim dan menyukai varian antara yang lebih umum. Seleksi ini mengurangi variasi dan mempertahankan keadaan yang tetap pada suatu waktu tertentu untuk suatu fenotip khusus (Gambar 7). Sebagai contoh bayangkan populasi kelinci yang panjang kakinya bervariasi. Pada lingkungan yang di dalamnya terdapat anjing hutan, kelinci yang kakinya panjang akan tereliminasi karena mereka tidak dapat melintasi lubang-lubang kecil untuk melarikan diri dari anjing hutan. Kelinci yang kakinya pendek juga akan tereliminasi, karena mereka tidak dapat berlari cepat untuk menghindarkan diri dari anjing hutan. Hasilnya



- adalah populasi kelinci yang panjang kakinya sedang relatif lebih bertahan. Variasi kelinci akan berkurang dan populasi akan stabil.
2. Seleksi langsung (*directional selection*), seleksi ini menggeser keseluruhan susunan populasi dengan cara lebih menyukai salah satu varian yang ekstrim (lihat Gambar 3.6). Sebagai contoh jika di sebuah hutan terdapat populasi jerapah. Misalkan makanan jerapah adalah daun-daun sejenis pohon yang ukurannya cukup tinggi. Proses seleksi tentu saja ke arah leher yang lebih panjang.
 3. Seleksi penganekaragaman (*diversifying selection*), menyeleksi sifat rata-rata dan lebih menyukai sifat yang ekstrim (Gambar 3.6). Perhatikan ukuran biji populasi pohon oak, yang berkisar dari yang kecil hingga yang besar. Umpamakan suatu spesies tupai pemakan biji oak menyerbu hutan. Tupai-tupai itu tidak akan memakan biji yang kecil, sebab terlalu sulit untuk di tempatkan. Mereka juga tidak akan memakan biji yang besar sebab terlalu besar untuk dibawa. Setelah beberapa tahun, biji oak yang ukurannya sedang akan menghilang, tetapi biji yang ukurannya kecil dan besar akan *survive* dan berkecambah. Selanjutnya hutan oak tersebut akan memiliki pohon dengan dua ukuran biji yang berbeda.



Gambar 3.6. Cara seleksi alam dalam mempengaruhi penurunan frekuensi suatu sifat (Sumber: Campbell, 2003)



b. Hanjutan/pergeseran genetik (*genetic drift*)

Hanjutan/pergeseran genetik adalah perubahan dalam frekuensi gen pada suatu populasi berukuran kecil akibat kejadian acak. Secara ideal suatu populasi harus berukuran besar agar hanjutan/pergeseran genetik tidak mempengaruhi kumpulan gennya. Pada umumnya hanjutan/pergeseran genetik disebabkan oleh bencana besar dan pembentukan koloni baru oleh sejumlah kecil individu. Bencana besar misalnya letusan gunung berapi dan tsunami dapat mengurangi ukuran populasi secara drastis. Akibatnya, struktur genetik populasi kecil yang selamat mungkin tidak mewakili struktur populasi semula, situasi ini biasanya disebut sebagai efek leher botol (*bottleneck effect*). Dengan hilangnya sebagian besar alel dari kumpulan gen, maka efek leher botol dan hanjutan/pergeseran genetik yang diakibatkannya, akan mengurangi keanekaragaman genetik dalam suatu populasi. Efek leher botol dapat menjelaskan mengapa populasi cheetah memperlihatkan variasi genetik yang sangat sedikit.

Hanjutan/pergeseran genetik juga dapat terjadi ketika pembentukan koloni baru oleh beberapa individu yang menempati suatu habitat yang terisolasi. Semakin kecil ukuran populasi koloni baru, maka semakin kecil kemungkinan susunan genetiknya akan mewakili kumpulan gen populasi asalnya. Hanjutan/pergeseran genetik dalam suatu koloni baru dikenal sebagai efek pendiri (*founder effect*).

c. Aliran gen (*gene flow*)

Aliran gen (juga disebut campuran gen atau migrasi gen) adalah pertukaran dari variasi genetik antar populasi, ketika faktor geografi dan habitat bukan rintangan. Ernst Mayr berpendapat bahwa aliran gen seperti *homogenizing* (penyamaan gen), dapat menetralkan adaptasi selektif. Pendapat ini didukung oleh Campbell (2003) yang menyatakan bahwa aliran gen cenderung mengurangi perbedaan antara populasi yang telah terakumulasi akibat seleksi alam atau hanjutan/pergeseran genetik. Jika hal ini terjadi cukup luas, aliran gen akhirnya dapat menyatukan populasi yang berdekatan menjadi sebuah populasi tunggal dengan struktur genetik yang sama. Dengan demikian, aliran gen dapat menyebabkan perubahan pada frekuensi alel suatu populasi, kita tahu jika frekuensi alel suatu populasi berubah maka disana telah terjadi proses mikroevolusi.



Ketika ada rintangan ke aliran gen, situasi ini dimasukkan ke dalam istilah isolasi reproduksi dan merupakan hal yang penting untuk terjadinya spesiasi. Gerak bebas alel melalui suatu populasi mungkin juga dirintangi oleh struktur populasi. Sebagai contoh, kebanyakan populasi di dunia nyata tidaklah benar-benar secara penuh dapat saling berbiak silang. Jarak geografi mempunyai pengaruh yang kuat terhadap pergerakan alel di dalam populasi.

d. Mutasi

Mutasi adalah perubahan dalam DNA suatu organisme. Suatu mutasi baru yang diturunkan melalui gamet dapat dengan segera mengubah kumpulan gen suatu populasi. Mutasi selalu terjadi. Hampir semua gen mungkin mengalami mutasi sekali pada saat pembelahan yang ke 50.000 hingga 100.000 (Sastrodihardjo, 1980). Kecepatan mutasi dari berbagai gen bervariasi. Alel yang lebih stabil, frekuensinya akan cenderung bertambah banyak, sedangkan alel yang mudah bermutasi akan cenderung untuk berkurang frekuensinya. Meskipun mutasi pada suatu lokus gen tertentu jarang terjadi, dampak kumulatif mutasi tersebut pada semua lokus bisa signifikan. Hal ini disebabkan oleh setiap individu memiliki ribuan gen, dan banyak populasi memiliki ribuan atau jutaan individu. Dengan begitu, dalam jangka panjang mutasi sangat penting bagi evolusi karena mutasi mempertinggi variabilitas yang berfungsi sebagai bahan mentah untuk seleksi alam.

e. Perkawinan Tidak Acak

Syarat lain agar kesetimbangan Hardy-Weinberg dapat dipertahankan adalah perkawinan acak. Tetapi pada kenyataannya, individu lebih sering kawin dengan anggota populasi yang lebih dekat dibandingkan dengan yang lebih jauh jaraknya, terutama pada spesies yang penyebarannya dekat. Hal ini akan mendorong perkawinan antarkerabat (*inbreeding*). Perkawinan tidak acak lainnya adalah perkawinan asortatif atau perkawinan berdasarkan pilihan, di mana individu memilih pasangan yang sama dengan dirinya dalam fenotip tertentu. Sebagai contoh, beberapa kodok (*Bufo sp*) paling sering mengawini kodok yang ukurannya sama.



Perkawinan yang tidak acak akan meningkatkan jumlah genotif homozygot dari lokus gen pada individu. Setiap perubahan dalam perilaku kawin asortatif atau kawin antar kerabat populasi akan menggeser frekuensi genotif yang berlainan. Dengan demikian, perkawinan tidak acak dapat menyebabkan populasi berevolusi.

5. Bukti-Bukti Evolusi

Selama dan sejak jaman Darwin, orang-orang telah mencari dan mempelajari bukti-bukti evolusi di alam yang mengajari mereka lebih banyak tentang evolusi. Beberapa jenis bukti evolusi, misalnya fosil dan kesamaan antar organisme, telah digunakan oleh Darwin untuk membangun teorinya tentang seleksi alam dan masih digunakan sampai sekarang. Bukti yang lainnya, misalnya uji DNA belum tersedia pada jaman Darwin, tetapi digunakan oleh ilmuwan sekarang untuk mempelajari lebih banyak tentang evolusi.

Lima jenis bukti evolusi dibahas di dalam modul ini, yaitu sisa organisme masa lampau, distribusi geografis spesies (biogeografi), anatomi perbandingan, embriologi perbandingan, dan genetika molekuler. Bukti penting lain yang dipelajari Darwin dan juga masih dipelajari sekarang adalah seleksi buatan, atau domestikasi.

a. Sisa Organisme Masa Lampau

Fosil, bersama-sama dengan anatomi perbandingan dari hewan dan tumbuhan yang ada sekarang, merupakan catatan morfologi atau anatomi dari suatu spesies. Selanjutnya, dengan membandingkan anatomi kedua-duanya yaitu spesies yang hidup di masa lampau dengan spesies yang ada sekarang, paleontologis (ahli fosil) dapat menyimpulkan atau menduga garis keturunan dari spesies tersebut. Bukti Fosil sangat penting, termasuk hubungan dengan kelompok organisme yang disebut spesies "transisi", seperti *Archaeopteryx sp*, yang menyajikan bukti awal untuk mata rantai antara dinosaurus dan burung serta penemuan terakhir *Tiktaalik sp* yang menjelaskan pengembangan dari ikan ke hewan berkaki empat.

Darwin dan para ilmuwan sekarang sudah menemukan bahwa sisa organisme-organisme masa lampau yang mereka temukan kelihatan seperti organisme-

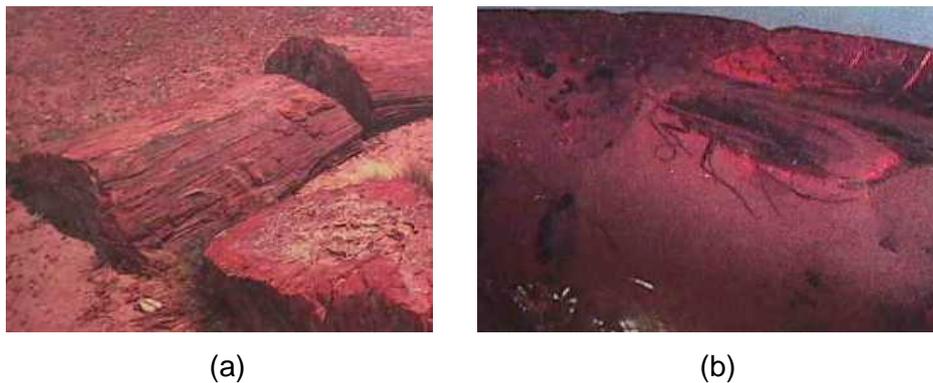


organisme sekarang. Hal ini dimungkinkan karena mereka adalah nenek moyang (*ancestor*) organisme yang hidup atau berkembang dari seorang nenek moyang umum (*common ancestor*). Sebagai contoh, megatherium mungkin nenek moyang dari pohon yang ada sekarang. Dewasa ini, fosil-fosil masih menjadi bahan yang dipelajari untuk menemukan lebih banyak bukti tentang kehidupan di masa lampau dan hubungannya dengan kehidupan sekarang. Mereka menjelaskan informasi yang tersedia tentang evolusi dan bagaimana terbentuknya kehidupan.



Gambar 3.7. Bayi Mammoth yang terperangkap dalam es, diperkirakan hidup 22.000 tahun yang lalu.
(sumber: <http://evolution.berkeley.edu/evolibrary/>)

Tidak seperti di jaman Darwin, sekarang para ilmuwan dapat mengetahui umur fosil dan sisa-sisa organisme masa lampau ini untuk mendapatkan suatu gambaran yang lebih tepat ketika organisme-organisme yang berbeda berkembang. Kita masih belajar berbagai hal yang baru dari suatu sumber berharga yang secara harfiah berumur jutaan tahun.



Gambar 3.8. (a) Mineral menggantikan material tumbuhan untuk membentuk kayu yang membatu; (b) serangga terjebak di dalam getah pohon, yang kemudian mengeras ke dalam batu amber (sumber: [http:// evolution.berkeley.edu/evolibrary/](http://evolution.berkeley.edu/evolibrary/))

b. Distribusi Geografis Spesies (Biogeografi)

Bukti lain yang digunakan untuk menunjukkan garis keturunan evolusioner adalah distribusi geografis dari spesies. Sebagai contoh, hewan monotremata dan kebanyakan marsupialia (binatang berkantung) ditemukan hanya di Australia. Hal ini menunjukkan bahwa nenek moyang umum mereka, yaitu mamalia berplasenta hidup sebelum tenggelamnya jembatan daratan masa lampau antara Australia dan Asia.

Darwin memperoleh ide tentang evolusi pertama kali dari fenomena penyebaran geografis spesies. Darwin mencatat bahwa tumbuhan dan hewan di daerah beriklim sedang (temperata) Amerika Selatan lebih dekat kekerabatannya dengan spesies yang hidup di daerah tropis benua tersebut dibandingkan dengan spesies di daerah beriklim sama namun hidup di benua lain. Dengan demikian, penjelasan yang paling tepat adalah organisme yang ada di suatu pulau memiliki kekerabatan dengan organisme yang ada di pulau terdekatnya karena berkembang dari nenek moyang yang sama.

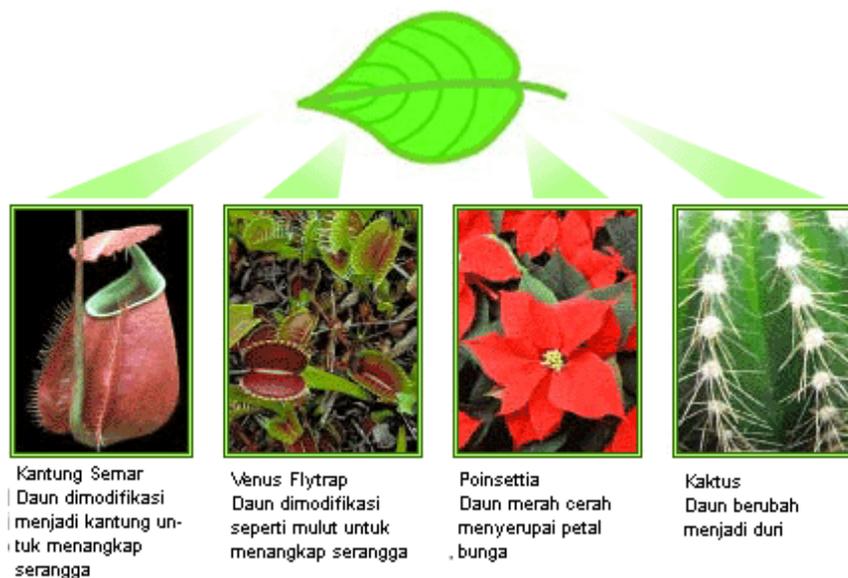
c. Anatomi Perbandingan

Teori evolusi memprediksi bahwa keterkaitan organisme ditunjukkan dengan adanya kesamaan organ yang berasal dari nenek moyang umum. Bagian tubuh dengan struktur dasar yang sama dikenal sebagai homologi. Struktur homolog ditemukan pada organisme-organisme yang berbeda namun memiliki nenek moyang umum yang sama. Homologi dapat dijelaskan dengan membandingkan



anatomi dari makhluk hidup yang berbeda, yang terlihat dari kesamaan dan perbedaan sel, mempelajari perkembangan embrio, dan mempelajari struktur-struktur sisa (*vestigial structures*) pada individu suatu organisme.

Beberapa jenis daun pada gambar 3.9 sangat berbeda dengan daun normal. Masing-masing daun memiliki bentuk dan fungsi yang berbeda, namun semua berasal dari struktur yang sama (homolog), yang berasal dari suatu bentuk *common ancestor*. Kantung semar dan *Venus flytrap* menggunakan daunnya untuk menangkap dan mencerna serangga. Daun merah cerah dari *Poinsettia* terlihat seperti kelopak bunga. Daun kaktus mengalami modifikasi menjadi duri-duri kecil sehingga dapat mengurangi laju kehilangan air dan dapat melindungi kaktus dari herbivor.



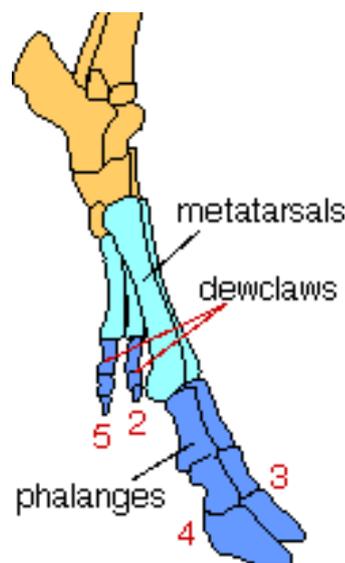
Gambar 3.9. Homologi pada daun
(sumber: <http://evolution.berkeley.edu/evolibrary/>)

Di dalam tubuh setiap organisme banyak terdapat bukti tentang sejarah kehidupan mereka dan penjelasan terbaik untuk keberadaan fitur ini adalah dengan evolusi.

Beberapa hewan termasuk babi, sapi, rusa, dan anjing dalam perkembangannya telah mengurangi tulang-tulang jari kaki yang tidak berfungsi yang dikenal sebagai *deuclaws* (Gambar 3.10). Kaki babi kehilangan 1 tulang jari lengkap, tulang jari ke 2 dan 5 telah sangat tereduksi, dan hanya tulang jari 3 dan 4 yang



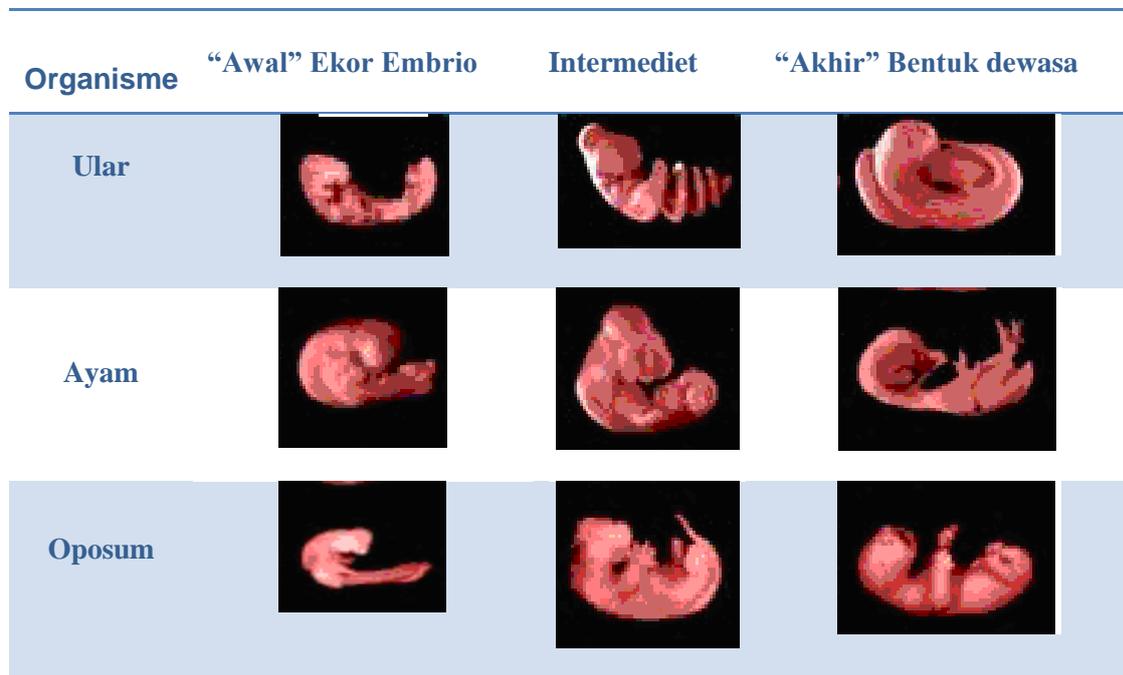
mendukung tubuh. Penjelasan terbaik untuk organ vestigial bahwa organ-organ tersebut adalah sisa-sisa dari nenek moyang dengan jumlah yang hilang atau tereduksi jauh lebih banyak dari tulang jari fungsional. Bagian tubuh yang sama dalam fungsi tetapi berbeda dalam struktur dasar seperti sayap burung dengan sayap serangga, disebut struktur analog. Bagian tubuh ini tidak menunjukkan suatu hubungan evolusioner.



Gambar 3.10 “Dewclaws” organ vestigial pada beberapa hewan
(sumber: <http://evolution.berkeley.edu/evolibrary/>)

d. Embriologi Perbandingan

Perkembangan suatu organisme, atau ontogeni, mungkin berisi petunjuk-petunjuk tentang sejarah yang dapat digunakan ahli biologi untuk membangun pohon evolusioner. Karakter-karakter yang berasal dari nenek moyang sering (tetapi tidak selalu) dipelihara dalam perkembangan suatu organisme. Sebagai contoh, embrio anak ayam dan manusia (Gambar 3.11) kedua-duanya mengalami suatu tahap di mana mereka mempunyai celah dan bangun lengkung di dalam leher mereka yang serupa dengan bangun lengkung dan celah insang dari ikan. Pengamatan ini mendukung gagasan bahwa ayam dan manusia memiliki nenek moyang umum (*common ancestor*) yang sama dengan ikan. Dengan demikian, karakter-karakter perkembangan suatu organisme beserta bukti lainnya dapat digunakan untuk membangun phylogeni.



Gambar 3.11. Karakter-karakter yang ditunjukkan oleh embrio mungkin menguraikan pola hubungan di antara garis keturunan.
(sumber: <http://evolution.berkeley.edu/evolibrary/>)

e. Biologi Molekuler

Hubungan evolusi di antara spesies dicerminkan dalam DNA dan proteinnya atau dalam gen dan produk gennya. Jika dua spesies memiliki pustaka gen dan protein dengan urutan monomer yang sangat bersesuaian, urutan itu pasti disalin dari nenek moyang yang sama. Biologi molekuler mendukung pemikiran Darwin yang paling berani, “bahwa semua bentuk kehidupan saling berhubungan sampai tingkat tertentu melalui cabang-cabang keturunan dari organisme yang paling awal”. Bahkan organisme yang secara taksonomi berbeda jauh seperti manusia dan bakteri, memiliki beberapa protein yang sama, misalnya sitokrom c, suatu protein yang terlibat dalam respirasi seluler pada semua spesies aerob. Dengan demikian, biologi molekuler telah menambahkan babak terbaru dari bukti-bukti bahwa evolusi adalah dasar kesatuan dan keanekaragaman kehidupan.

Perkembangan genetika molekuler, terutama sekali sekuensing DNA (urutan nukleotida pada DNA), telah membuat para ahli biologi mempelajari catatan evolusi dari struktur genetika organisme. Tingkat kesamaan dan perbedaan



dalam urutan DNA dari spesies modern membuat ahli genetika dapat merekonstruksi garis keturunan mereka. Berdasarkan perbandingan urutan nukleotida DNA, tingkat kesamaan antara manusia dan simpanse adalah 98%.

6. Kesalahpahaman tentang Teori Evolusi

Meskipun sintesis modern hampir diterima secara universal oleh masyarakat ilmiah, banyak orang secara intuisi menemukan aspek lain tentang evolusi. Misalnya, dari sudut pandang ilmiah satu kekuatan terbesar penyebab evolusi adalah seleksi alam. Oleh karena itu tidak diperlukan suatu kecerdasan supra natural atau perancang cerdas untuk terjadinya evolusi. Orang sering menemukan bahwa pengenalan konsep-konsep yang menentang persepsi mereka tentang desain, tujuan, prinsip, atau kejadian di alam, sulit untuk diterima. Seperti pernyataan Louis Menand: "Darwin ingin menetapkan bahwa spesies termasuk manusia diciptakan dan berkembang menurut suatu proses alami, yang dihasilkan secara kebetulan dan buta". Dengan pernyataan tadi orang dapat merasakan bahwa teori seperti itu merampok kehidupan dan alam semesta tentang segala sesuatu yang sulit dipahami. Argumentasi-argumentasi melawan teori evolusi dan seleksi alam, secara umum melibatkan kesalahpahaman atau kesalahan konsep tentang evolusi atau tentang ilmu pengetahuan secara umum. Sebagian dari argumentasi yang berlawanan dengan teori evolusi dikaji dalam bab ini.

a. Perbedaan antara Teori dan Fakta

Sintesis modern, seperti halnya teori yang terdahulu, yaitu Mendelian dan Darwinian, adalah suatu teori ilmiah. Ketika berpidato, biasanya orang menggunakan kata "teori" untuk mengatakan dugaan, spekulasi, atau pendapat, dan kata "fakta" untuk menyatakan benar, atau sangat benar. Dengan pernyataan seperti ini, "teori" bertentangan dengan "fakta". Meskipun demikian, dalam pengertian yang lebih tegas, fakta dan teori menunjukkan status epistemologi dari ilmu pengetahuan. Di dalam IPA, fakta diperoleh dari data satu pengamatan. Sedangkan teori diperoleh dari kesimpulan berdasarkan kumpulan fakta-fakta. Suatu teori adalah satu usaha untuk mengidentifikasi dan menguraikan hubungan antara fenomena-fenomena atau berbagai hal, dan



menghasilkan prediksi-prediksi yang dapat diuji melalui eksperimen-eksperimen yang dikendalikan, atau pengamatan empiris.

Dalam pengertian ilmiah, "fakta-fakta" adalah apa yang diusahakan teori untuk dijelaskan. Maka, untuk para ilmuwan "teori" dan "fakta" tidak berdiri sebagai oposisi, tetapi lebih ada dalam suatu hubungan yang timbal balik; sebagai contoh, yang merupakan suatu fakta: bahwa buah apel akan jatuh ke Bumi jika berada pada suatu cabang dan "teori" yang menjelaskan hal ini adalah teori gravitasi. Demikian juga, variasi genetika, seleksi alam, dan tanggapan terhadap seleksi (misalnya dalam domestikasi tumbuhan dan hewan) adalah fakta, dan generalisasi atau ekstrapolasi dari fenomena ini, serta penjelasan bagi fakta-fakta ini adalah "teori evolusi".

Sintesis evolusi modern sudah menggantikan penjelasan-penjelasan sebelumnya untuk asal-usul spesies termasuk Lamarckisme, dan sekarang ini teori evolusi merupakan teori yang paling kuat dalam menjelaskan fenomena-fenomena biologi.

b. Evolusi dan Devolusi

Salah satu kesalah pahaman yang paling umum tentang evolusi adalah bahwa satu spesies dapat "sangat ditingkatkan" dibanding yang lain, bahwa evolusi adalah kemajuan yang diperlukan dan atau mendorong pada kompleksitas yang lebih besar atau sebaliknya (devolusi). Padahal evolusi tidak menjamin bahwa generasi yang akan datang akan lebih cerdas, kompleks, atau moralnya lebih pantas dibanding generasi sebelumnya.

Tuntutan bahwa evolusi mengakibatkan kemajuan bukanlah bagian dari teori evolusi modern; itu berasal dari sistem kepercayaan sebelumnya yang terjadi waktu Darwin memikirkan teori evolusinya. Dalam banyak kasus evolusi menunjukkan "kemajuan" ke arah yang lebih tinggi kompleksitasnya, ketika bentuk kehidupan yang paling awal dan sangat sederhana dibandingkan dengan spesies yang ada sekarang. Namun, tidak ada jaminan bahwa semua organisme tertentu yang ada hari ini akan menjadi lebih cerdas, lebih rumit, lebih besar, atau lebih kuat di masa yang akan datang. Sebenarnya, seleksi alam hanya akan memilih sifat yang maju (kompleks) jika hal itu meningkatkan kesempatan untuk survival, yaitu suatu kemampuan untuk hidup cukup panjang untuk memperbanyak keturunan kepada kedewasaan seksual. Mekanisme yang



sama dapat benar-benar menyukai kecerdasan yang lebih rendah, atau kompleksitas yang lebih rendah dan seterusnya jika ciri-ciri itu menjadi suatu keuntungan yang selektif di dalam lingkungan organisme tersebut.

Satu arah pemahaman yang nyata bahwa "kemajuan" bentuk kehidupan dari waktu ke waktu adalah untuk mengingatkan bahwa kehidupan yang paling awal dimulai sebagai wujud-wujud yang sangat sederhana. Evolusi menyebabkan kehidupan menjadi lebih kompleks, karena menjadi lebih sederhana tidak menguntungkan. Namun ketika garis keturunan individu sudah mencapai kompleksitas yang cukup, mungkin juga memerlukan penyederhanaan (spesialisasi). Sebagai contoh, hal ini dapat dilihat pada banyak spesies parasit yang sudah meningkatkan wujud yang lebih sederhana dari *ancestors* (nenek moyangnya).

c. Spesiasi

Kadang-kadang orang berpikir bahwa spesiasi (pembentukan spesies baru) belum pernah secara langsung diamati, dan dengan begitu evolusi tidak bisa disebut sebagai ilmu pengetahuan yang kuat. Padahal pada kenyataannya "mikroevolusi" telah diamati dan "makroevolusi" tidak dapat diamati secara menyeluruh. Beberapa kreasionis mendefinisikan kembali makroevolusi sebagai perubahan dari satu jenis makhluk hidup ke jenis makhluk hidup lain, masih belum jelas apa yang dimaksud suatu jenis dalam konteks ini dan mengacu kemana. Ini adalah suatu kesalahan pemahaman baik dari sudut pandang ilmu pengetahuan maupun evolusi. Pertama, penemuan ilmiah tidak terjadi semata-mata melalui suatu eksperimen yang dapat diulang kembali; prinsip tentang uniformitarianism mengizinkan para naturalis untuk menginfer/menduga penyebab sesuatu melalui efek empirisnya. Lebih dari itu, sejak penerbitan buku *On the Origin of Species* banyak Ilmuwan telah memperkokoh Hipotesis Darwin dengan mengumpulkan data dari sumber yang tidak ada pada jaman Darwin, seperti kesamaan DNA antarspesies dan penemuan fosil baru. Akhirnya, spesiasi telah diamati secara langsung pada hewan-hewan yang siklus hidupnya pendek.



d. Pengorganisasian Diri dan Entropi

Ini tuntutan berikutnya terhadap evolusi. Dengan terus meningkatnya kompleksitas tanpa intervensi hal-hal yang gaib, maka proses evolusi melanggar hukum termodinamika kedua. Hukum ini mengusulkan bahwa dalam satu sistem yang terisolasi sempurna entropi akan cenderung untuk meningkat atau tetap. Entropi adalah suatu ukuran jumlah energi di dalam suatu sistem fisika yang tidak bisa digunakan untuk melakukan pekerjaan mekanis, dan dalam termodinamika statistik hal itu dibayangkan sebagai suatu ukuran dari statistik "kekacauan" pada suatu tingkatan mikro. Tuntutan ini mengabaikan fakta bahwa sistem biologi bukanlah sistem yang terisolasi. Matahari menyediakan sejumlah besar energi kepada Bumi, dan arus panas ini mengakibatkan peningkatan entropi yang sangat besar ketika dibandingkan dengan pengurangan entropi yang berhubungan dengan pengurangan kekacauan sistem biologi. Sebenarnya aliran materi dan energi melalui sistem terbuka membuka peluang kepada suatu organisme untuk meningkatkan kompleksitasnya tanpa bimbingan atau pengaturan. Kehidupan melibatkan sistem terbuka bukan sistem terisolasi, ketika semua organisme mengubah energi dan materinya sesuai dengan lingkungannya, dan dengan cara yang sama Bumi menerima energi dari matahari dan memancarkan kembali energi ke ruang angkasa.

e. Informasi

Beberapa orang menyatakan bahwa evolusi tidak bisa menciptakan informasi, atau informasi itu hanya dapat diciptakan oleh kecerdasan. Informasi fisik ada dengan mengabaikan kehadiran kecerdasan, dan evolusi mempertimbangkan informasi baru kapan saja, ketika suatu mutasi atau duplikasi gen terjadi. Sekali pun mereka diberi informasi yang akan memuaskan misalnya penemuan bakteri pemakan nilon yang memiliki enzim yang secara efisien mencerna material yang tidak pernah ada sampai zaman modern. Hal itu berdasarkan pada konsep sederhana pergeseran membaca suatu gen yang telah digunakan untuk yang lain. Tetapi dengan konsep sederhana tersebut gen yang berupa kemampuan mencerna nilon tersedia disana. Mutasi masa depan, barangkali mutasi titik yang terjadi pada gen, secara masuk akal bisa mempertinggi keuntungan dari pengurangan energi untuk proses dekomposisi nilon.



f. Kontroversi Sosial dan Agama

Sejak penerbitan *The Origin of Species* pada tahun 1859, teori evolusi telah menjadi sumber kontroversi yang hampir tetap. Secara umum, kontroversi memusat pada hal-hal yang filosofis, kosmologis, sosial, dan implikasi religius dari evolusi, bukan pada ilmu evolusi itu sendiri. Teori bahwa evolusi biologi terjadi melalui satu mekanisme atau lainnya hampir tidak ditentang dalam masyarakat ilmiah sejak awal abad ke-20.

Ketika Darwin memahami teori evolusi, mungkin aspek yang paling kontroversial dari evolusi adalah aplikasinya terhadap manusia. Gagasan bahwa semua keaneka ragaman dalam kehidupan termasuk manusia muncul melalui proses alami tanpa memerlukan intervensi hal-hal yang gaib merupakan proses yang sulit untuk dipercaya dalam kaitannya dengan keimanan yang paling religius dan terutama untuk agama Ibrahim. Banyak orang-orang yang religius bisa mendamaikan ilmu pengetahuan evolusi dengan keimanan mereka, atau mereka tidak melihat konflik apapun yang riil. Gagasan bahwa keimanan dan evolusi dapat diharmoniskan disebut sebagai evolusi theistik (*theistic evolution*). Kelompok orang-orang religius lain, yang biasanya dikenal sebagai kreasionis (creationists), menganggap bahwa kepercayaan tentang asal evolusioner kehidupan bertentangan dengan keimanan mereka, persepsi mereka tentang desain secara alami dari evolusi membuat mereka tidak bisa menerima apa yang mereka sebut "evolusi tanpa pemandu" (*unguided evolution*).

Suatu konflik terkait muncul ketika para kritikus mengkombinasikan pandangan religius dari status superior masyarakat dengan dugaan yang salah bahwa evolusi perlu "progresif". Tuntutan para kritikus ini, jika manusia adalah hewan yang lebih pandai (superior) namun berkembang dari hewan sebelumnya, maka hewan yang lebih rendah (inferior) tidak akan masih tersisa. Sebab hewan yang inferior (dalam pandangan mereka) adalah makhluk-makhluk yang sungguh dapat dibuktikan ada. Mereka yang mengkritik evolusi kadang-kadang salah mengambil bukti pendukung, tuntutan mereka bahwa evolusi adalah palsu.

Di beberapa negara, khususnya Amerika Serikat, pertentangan antara agama dan ilmu pengetahuan ini diperpanas suasananya dengan apa yang disebut kontroversi evolusi-penciptaan, yang di antaranya sudah menghasilkan perebutan konsep dalam kurikulum pelajaran. Sementara di bidang sains yang



lainnya, seperti kosmologi dan ilmu Bumi, juga bertikai tentang penafsiran harfiah dari teks-teks yang religius, studi-studi evolusioner telah melahirkan debat-debat ini. Evolusi telah digunakan untuk mendukung filosofis dan aneka pilihan etis ilmuwan yang paling modern yang argumentasinya diamanatkan oleh evolusi maupun didukung oleh ilmu pengetahuan. Sebagai contoh, *eugenic* gagasan dari Francis Galton yang telah dikembangkan ke dalam argumentasi bahwa kualitas kumpulan gen manusia (*gene pool*) harus ditingkatkan melalui kebijakan perkawinan selektif. Kebijakan lainnya misalnya insentif untuk reproduksi bagi sebagian "stock keturunan baik" dan disinsentif (seperti wajib sterilisasi, "euthanasia", pengujian sebelum melahirkan, pembatasan kelahiran, dan rancang-bangun sifat genetik) bagi sebagian sifat tidak baik.

Contoh lain dari perluasan teori evolusioner yang secara luas dihormati adalah "Darwinisme Sosial", suatu istilah yang beriklan kepada Teori Malthusian di abad 19 yang dikembangkan Herbert Spencer ke dalam gagasan tentang kesintasan bagi yang terbugar (*survival of the fittest*) dalam kehidupan masyarakat secara keseluruhan, dan oleh orang tertentu ketidaksetaraan sosial, rasisme, dan kekaisaran adalah dibenarkan.

g. Pandangan dari Sisi yang Lain

Selama hidup, kita pasti mengetahui dan meyakini bahwa setiap makhluk hidup dapat menghasilkan keturunan yang serupa dengan dirinya sendiri. Harimau selalu melahirkan harimau, burung merpati selalu mereproduksi burung merpati, pisang selalu menghasilkan pisang, harimau tidak pernah mereproduksi burung merpati dan juga tidak pernah menghasilkan mangga. Ini adalah fakta yang tidak dapat dibantah oleh akal sehat dan sejarah sekalipun. Namun kadang-kadang kita menemukan adanya suatu organisme berbeda yang sebelumnya belum pernah ada. Dalam hal ini "evolusi" adalah kata yang paling ampuh untuk menjelaskan fakta baru tersebut. Tapi apakah hal ini benar menurut ilmu pengetahuan ?

Permasalahan pertama dalam evolusi adalah apakah evolusi sendiri itu benar? Perdebatan mengenai permasalahan klasik ini tidak akan pernah selesai untuk dibicarakan. Seperti kita membicarakan duluan mana antara ayam dan telur. Orang tidak mengetahui secara pasti apakah ayam yang lebih dulu ada atautkah telur. Begitu juga dengan evolusi. Di satu sisi kelompok "kreasionisme"



menganggap bahwa teori evolusi yang ada selama ini adalah kebohongan belaka (atau lebih tepatnya menyesatkan). Sementara di sisi lain kelompok “evolusionis” menganggap bahwa hal itu adalah prinsip yang penting sehingga perlu dikembangkan lebih lanjut dalam skala ilmu pengetahuan yang lebih luas.

Dengan kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi yang sangat pesat, terutama di bidang biologi molekuler, konsep evolusi yang oleh Darwin dikatakan sebagai agen perubahan yang memunculkan banyak bentuk kehidupan seperti sekarang telah berkembang menjadi banyak teori evolusi, seperti evolusi manusia, kimia, sistem ekologi, perilaku, kebudayaan, penciptaan alam semesta, dan evolusi-evolusi lainnya.

Di antara peneliti yang mengembangkan konsep evolusi Darwin tersebut adalah Mojzsis, seorang ilmuwan yang mengenalkan bentuk awal kehidupan. Dengan teknik radio-isotop Majzsis menemukan fosil stromatolit yang diidentifikasi berumur lebih dari 3,85 milyar tahun yang. Peneliti lain yang dipelopori oleh Haldane pada tahun 1932, Oparin pada tahun 1938, dan Deckerson pada tahun 1978 berhasil mencetuskan konsep evolusi kimiawi yang kemudian menjadi dasar pemikiran mengenai asal muasal kehidupan. Peneliti lain seperti Stanley L. Miller dan Harold C. Urey pada tahun 1950 serta Sydney W. Fox menguji kebenaran teori Haldane dan koleganya yang akhirnya mendukung dan memberikan bukti kuat lainnya yang belum disebutkan sebelumnya mengenai Progenotes atau Protobion. Akhirnya perubahan besar disampaikan oleh Woose dkk. pada tahun 1990 dan Pace pada tahun 1997 mengenai analisis 16s rRNA yang dapat digunakan untuk melacak asal usul dan kekerabatan makhluk hidup.

Kalau kita mau jujur, dari serangkaian penelitian di atas, saat ini kita mengetahui banyak hal mengenai kehidupan yang selama ini terselubung, seperti endosimbion, bentuk kehidupan ekstrim, fisiologis sel, protein dan sebagainya. Lebih jauh, kita juga bisa menerangkan mekanisme seleksi, mutasi, resistensi, dan variasi yang semua itu adalah bagian dari evolusi sepanjang rentang sejarah kehidupan. Aplikasi dari penemuan derivat yang di-inisiasi oleh pengetahuan di atas, saat ini kita bisa mendapatkan banyak produk seperti enzim termostabil, rekayasa genetika, pengendalian hama dan penyakit, penanganan senyawa polutan *non degradable*, bidang medis, dan masih banyak lagi yang notabene bermanfaat bagi hajat hidup orang banyak.



Dengan demikian, kita sepakat bahwa teori evolusi adalah satu-satunya teori yang telah menyusup ke segenap aspek ilmu pengetahuan. Konsepnya sendiri yang mengandung implikasi bahwa dunia ini tidaklah statis tetapi berubah secara dinamis dan spesies yang ada sekarang adalah produk dari proses evolusi, tak terelakkan lagi telah mengubah pandangan dan pemahaman manusia tentang alam, dan tentang eksistensi dirinya sendiri. Karenanya evolusi kemudian menjadi sangat mudah diadopsi untuk dijadikan terminologi bagi banyak cabang ilmu pengetahuan.

Manusia baik secara individual ataupun kelompok adalah makhluk yang memiliki kepribadian, keyakinan, keinginan, ambisi, serta kepentingan yang bersifat material ataupun filosofis-ideologis. Oleh karena itu, manusia tidak akan pernah bisa melepaskan dirinya seratus persen dari elemen subjektivitas. Inilah yang melatarbelakangi banyaknya interpretasi tentang evolusi. Harun Yahya misalnya, seorang tokoh kreasionis modern telah memberikan perubahan pandangan dalam memahami evolusi. Ia membantah teori evolusi dengan pendekatan ilmiah, yang oleh generasi kreasionisme sebelumnya belum bisa diterangkan. Buku barunya yang berjudul "*The Evolution Deceit*" mengungkapkan banyak hal mengenai kebuntuan teori evolusi, baik evolusi molekuler, evolusi manusia, maupun teori evolusi yang lain. Apa yang dikatakan oleh Harun Yahya pada dasarnya adalah perbedaan. Dalam komunitas masyarakat, apalagi masyarakat ilmiah, perbedaan adalah hal wajar seandainya diletakkan pada nilai objektivitas ilmu pengetahuan. Sementara jika perbedaan diletakkan pada nilai-nilai dogmatis, maka yang ada adalah emosi membabi buta yang akhirnya justru akan merugikan ilmu pengetahuan itu sendiri. Ilmu pengetahuan berkembang karena keinginan orang untuk mencari tahu atau karena keberaniannya mempertanyakan sesuatu yang dianggap aneh. Ilmuwan dapat menghasilkan berbagai penemuan yang bermanfaat karena bisa mengalahkan keterbatasan dan mengekspresikan pikiran tanpa terbatas oleh dogma-dogma yang belum tentu jelas.

Dalam memahami ilmu pengetahuan, prinsip Uniformitarianisme (keseragaman) sangat diperlukan. Uniformitarianisme menyatakan bahwa suatu proses yang kita lihat bekerja untuk jangka waktu singkat dapat berlaku lebih lama agar berakibat lebih besar secara proporsional. Meski dapat diuji, ia tidak benar-benar



merupakan prinsip empiris, prinsip ini seharusnya lebih dipercaya karena kekuatan logisnya. Dengan prinsip inilah kita memperluas teori yang telah diuji pada skala kecil dengan memperluas pengamatan pada skala yang lebih besar. Gravitasi, misalnya diajukan oleh Newton dari kerja skala kecil mengenai gerakan benda-benda. Tak seorang pun mengetahui dan pernah secara langsung menguji bahwa bintang-bintang saling tarik menarik satu sama lain seperti halnya apel ditarik ke Bumi. Kita percaya uniformitarianisme, apabila uniformitarianisme ini kita tolak, semua ilmu pengetahuan menjadi mustahil. Apalagi belajar mengenai evolusi yang terpaut dengan ruang dan waktu.

Pendapat yang dikemukakan oleh Harun Yahya pada dasarnya adalah kekhawatiran munculnya paham materialisme modern berkedok ilmiah. Agama menyuruh umatnya untuk terus belajar dari fenomena alam yang ada, karena dari alam fakta itu ada. Pembelajaran proses kehidupan (seperti evolusi misalnya) tidak akan membawa orang pada penganut materialisme buta, malah semakin orang mendalami, semakin sadar ia akan kekuasaan Tuhan. Seandainya kita skeptis terhadap permasalahan evolusi, belum tentu saat ini kita bisa menyingkap banyak rahasia tentang kehidupan.

D. Aktivitas Pembelajaran

Untuk memahami teori evolusi peserta diklat hendaknya membaca modul ini mulai dari tujuan, indikator pencapaian kompetensi, uraian materi, dan aktivitas pembelajaran yang harus dilakukan. Selanjutnya peserta diklat secara individu atau berkelompok mencoba Lembar Kerja 1 - 3 yang tersedia di bawah ini. Aktivitas pada lembar kerja ini menunjukkan pentingnya salah satu proses evolusi yaitu adaptasi dan seleksi. Salah satu faktor yang membuat teori evolusi sulit untuk dipahami oleh siswa karena sulitnya menemukan atau membuat kegiatan yang dapat dilakukan siswa untuk mempermudah pemahaman dan meningkatkan retensi siswa dalam mengingat konsep ini. Oleh karena itu perlu sekali dikembangkan lembar kerja siswa (LKS) untuk kepentingan pembelajaran konsep Evolusi. Lembar kerja dalam modul ini dapat dikembangkan menjadi LKS yang dapat dilaksanakan dalam pembelajaran konsep Evolusi.



Lembar Kegiatan 1

PENYAMARAN

Aktivitas ini menunjukkan bagaimana suatu organisme yang mempunyai ciri-ciri yang bermanfaat untuk penyamaran, jika bercampur dengan lingkungannya, akan terseleksi (*survive*) dari organisme yang tidak atau sedikit mempunyai ciri seperti itu.

Anda akan memerlukan:

1. selembar koran
2. berbagai iklan dari koran
3. selembar kertas putih
4. selembar kertas hitam
5. pelubang kertas
6. buku catatan atau kertas grafik
7. pensil
8. penggaris
9. stopwatch atau jam tangan untuk menghitung waktu

Pelaksanaan Kegiatan

1. Gunakan pelubang kertas untuk membuat 100 buah bulatan kecil dari masing-masing kertas hitam, putih dan kertas koran. Letakkan selembar koran yang berbeda dengan kertas iklan di atas meja atau lantai yang rata, dan sebar bulatan kertas hitam, putih dan koran iklan secara acak di atas surat kabar tersebut.



2. Jika Anda adalah burung dan bulatan kertas adalah ngengat di atas sebatang pohon. Ambil lingkaran, satu demi satu, selama tigapuluh detik . Setelah tigapuluh detik, kelompokkan masing-masing bulatan kertas yang terambil, kemudian hitunglah. Buat suatu grafik batang, berapa banyak dari tiap warna yang Anda ambil dan "MAKAN". Simpan bulatan kertas itu kembali dan lakukan hal seperti tadi beberapa kali untuk memperoleh data yang valid. Hitung rata-rata jumlah masing-masing bulatan kertas dan buatlah grafik batangnya.
3. Alternatif: Jika Anda menemukan bahwa diri Anda hanya menyerbu satu jenis "ngengat" dengan sengaja (barangkali untuk mengacaukan eksperimen ini), gantilah strategi pengambilan bulatan kertas yaitu hanya mengambil satu warna untuk sepuluh detik, kemudian untuk warna lainnya masing-masing sepuluh detik juga.
4. Warna apa yang diambil paling banyak dan paling sedikit? Jelaskan apa yang menyebabkan warna tersebut diambil paling banyak? Jelaskan pula mengapa warna lain hanya sedikit yang terambil! Mengapa suatu organisme kadang-kadang perlu bercampur dengan lingkungannya? Apa manfaat bagi suatu organisme jika dapat bercampur dengan lingkungannya?



Lembar Kegiatan 2

Bermain Peran Model Evolusi

Ini adalah suatu aktivitas yang dapat menunjukkan proses evolusi. Dari kegiatan ini pikirkan dan rancanglah bagaimana cara menunjukkan aspek-aspek dari evolusi termasuk bagian-bagian dari Teori Darwin: bagaimana bagian-bagian tersebut serupa atau berbeda.

Anda akan memerlukan:

1. pemain 20 – 30 orang;
2. lapangan terbuka atau jalan;
3. satu buah stopwatch (atau dua);
4. clip board;
5. kertas;
6. pensil;
7. penggaris;
8. sesuatu untuk menandai start dan garis akhir.

Cara Permainan

1. Setiap orang berdiri dalam jarak tertentu, selanjutnya berilah mereka secarik kertas yang berisi tentang skala waktu geologis dan makhluk hidup yang ada pada saat itu. Mintalah mereka untuk memegang kertas tersebut. (Ini tidak sungguh-sungguh terjadi di alam, tetapi kita akan mensimulasikan pewarisan hereditas dalam evolusi. Kita memerlukan cara untuk meyakinkan bahwa hereditas itu "diteruskan" kepada keturunan). Buatlah garis start dan finish dengan jarak minimal 100 m.



2. Siapkan catatan seperti ini!

Putaran	pelari 1	pelari 2	pelari 3	pelari 4	pemenang 1	Pemenang 2	Rerata Kecepatan Lari Pemenang
1							
2							
3							
... dst.							

- Empat orang peserta diminta untuk bersiap-siap di garis start, kemudian berilah aba-aba untuk berlari ke garis finish. (Mereka adalah makhluk hidup yang terdapat pada awal periode evolusi sebelum mereka beradaptasi secara penuh). Catatlah kedalam tabel kecepatan dari setiap pelari pada putaran 1.
- Dua orang pertama yang mencapai garis finish adalah organisme yang "survive". (Barangkali makanan yang ada hanya cukup untuk dua orang sehingga keduanya dapat survive, atau barangkali makhluk hidup lain sedang berusaha untuk memakan mereka dan orang yang paling cepatlah yang dapat lepas dari bahaya dan survive). Catatlah ke dalam tabel pada putaran 1 kecepatan pemenang 1 dan 2 serta rata-rata kecepatan mereka.
- (Sekarang waktunya pemisahan hereditas). Masing-masing pemenang memilih dua orang yang diperkirakan kecepatan larinya berbeda. Kedua orang ini dianggap sebagai keturunan dari para pemenang. Orang-orang pada putaran 1 sekarang dianggap sudah "mati", tetapi individu yang survive mereka mati pada usia tua dan mempunyai kehidupan untuk bereproduksi, sedangkan mereka yang kalah "tidak survive" tidak mempunyai keturunan. Sekarang ada empat orang yang siap untuk melanjutkan perlombaan berikutnya.



6. Setelah mereka berlomba, catatlah kecepatan masing-masing pelari pada putaran 2. Kedua pemenang pada putaran 2 diminta untuk memilih 2 orang yang dianggap sebagai keturunannya.
7. Ulangi langkah ke- 5 dan 6 untuk putaran-putaran selanjutnya. Setelah semua orang selesai berlomba, perhatikan tabel pengamatan. Jika Anda melihat pada putaran kedua atau selanjutnya ada seseorang yang memiliki kecepatan lari yang sangat berbeda dengan pemenang (sangat cepat atau sangat lambat) tandailah orang tersebut. Kecepatan yang sangat berbeda adalah hasil mutasi di dalam gen itu. Apa yang akan terjadi pada organisme yang mengalami mutasi? Jelaskan!

E. Latihan/Kasus/Tugas

Bagian A.

Bacalah terlebih dahulu pernyataan di bawah ini dengan baik, kemudian pilihlah jawaban yang Anda anggap paling benar dengan memberi tanda (x) pada jawaban tersebut.

1. Gagasan Malthus yang diadaptasikan Darwin ke dalam teori evolusinya:
 - A. Untuk mempertahankan dirinya, manusia harus menyesuaikan diri.
 - B. pewarisan sifat
 - C. umur Bumi dan perubahan secara bertahap
 - D. klasifikasi organisme secara bertingkat
2. Manakah pernyataan berikut ini yang merupakan definisi dari Neodarwinism?
 - A. Evolusi adalah perubahan bertahap pada rentang waktu yg sangat panjang.
 - B. Evolusi adalah perubahan frekuensi alel dari suatu populasi persatuan waktu.
 - C. Evolusi adalah proses perubahan suatu spesies menjadi spesies baru dengan waktu yang tidak tertentu.
 - D. Evolusi adalah proses pembentukan individu baru yang disebabkan oleh seleksi alam.



3. Manakah pernyataan berikut ini yang *bukan* merupakan hasil suatu pengamatan atau inferensi yang menjadi dasar seleksi alam?
 - A. Individu yang adaptasinya kurang tidak pernah meninggalkan keturunan.
 - B. Karena hanya sebagian keturunan yang bertahan hidup, pasti terjadi perjuangan untuk mendapatkan sumberdaya yang terbatas.
 - C. Individu yang memiliki sifat yang dapat menyesuaikan diri dengan lingkungannya akan meninggalkan lebih banyak keturunan.
 - D. Keberhasilan reproduksi yang tidak sama pada setiap individu akan menyebabkan terjadinya adaptasi.

4. Tulang ekor pada manusia adalah.....
 - A. struktur vestigial
 - B. struktur analog
 - C. bukti degenerasi bagian tubuh yang jarang digunakan
 - D. mendukung pendapat ontogeni adalah rekapitulasi dari phylogeni

5. Berikut ini adalah beberapa salah paham tentang evolusi, *kecuali*....
 - A. Evolusi tidaklah, sebagaimana yang disangka banyak orang, yang menyatakan bahwa 'manusia berevolusi dari kera'. Tetapi, manusia dan kera yang ada sekarang mempunyai "moyang yang sama". Pengertian "moyang" ini harus dipahami sebagai moyang secara fisik, bukan spiritual.
 - B. Evolusi tidak berhenti. Evolusi adalah proses dasar dari biologi dan terus berlangsung.
 - C. Banyak yang bilang bahwa bukti-bukti evolusi sudah cukup. Evolusi sudah banyak diobservasi di laboratorium maupun dari bukti-bukti fosil.
 - D. Evolusi tidak mempunyai tujuan tertentu. Organisme adalah hasil dari mutasi yang sukses, maupun gagal, tergantung dari kondisi lingkungan pada saat itu.



Bagian B

Jawablah pertanyaan-pertanyaan berikut ini berdasarkan pemahaman yang Anda miliki !

1. Benarkah teori evolusi telah runtuh atau masih tetap merupakan suatu teori dasar dari cabang ilmu Biologi? Coba berikan argumentasi Anda mengenai hal tersebut!
2. Salah satu kesalahpahaman yang paling umum tentang evolusi adalah bahwa satu spesies dapat "sangat ditingkatkan" dibanding yang lain, bahwa evolusi menyebabkan makhluk hidup mengalami kemajuan yang diperlukan dan atau mendorong pada kompleksitas yang lebih besar atau sebaliknya (devolusi). Bagaimana pendapat Anda?

F. Rangkuman

Studi evolusi dalam abad kedua puluh terus berlanjut dengan substansi yang semakin tinggi dan dengan metode serta alat yang semakin canggih. Kini evolusi bisa dikatakan telah menjadi teori sentral dalam biologi modern yang berhubungan secara langsung dengan topik-topik seperti asal-usul resistensi antibiotika pada bakteri, sosialitas pada serangga, dan keanekaragaman hayati dari kehidupan di Bumi. Pengembangan terbaru yang paling penting dalam biologi evolusi adalah meningkatnya pemahaman dan kemajuan dari genetika. Sejak penerbitan *The Origin of Species* pada tahun 1859, teori evolusi telah menjadi sumber kontroversi yang hampir tetap. Secara umum, kontroversi memusat pada hal-hal yang bersifat filosofis, kosmologis, sosial, dan implikasi religius dari evolusi, bukan pada ilmu evolusi itu sendiri. Teori bahwa evolusi biologi terjadi melalui satu mekanisme hampir tidak ditentang dalam masyarakat ilmiah sejak awal abad ke-20.

G. Umpan Balik dan Tindak Lanjut

Setelah Anda menyelesaikan soal latihan di atas, Anda dapat menghitung tingkat keberhasilan Anda dengan menggunakan kunci/rambu-rambu jawaban yang terdapat pada bagian akhir modul ini. Jika Anda memperkirakan bahwa pencapaian Anda sudah melebihi 80%, silahkan terus mempelajari kegiatan Pembelajaran berikutnya. Namun jika pencapaian Anda masih kurang dari 80%, sebaiknya Anda ulangi kembali mempelajari kegiatan pembelajaran ini.

KUNCI JAWABAN LATIHAN/KASUS/TUGAS

KEGIATAN PEMBELAJARAN 1: SISTEM EKSRESI MANUSIA

1. Mekanisme osmoregulasi dalam sistem ekskresi manusia sebagai berikut.

Ekskresi adalah pengeluaran atau pembuangan ampas hasil metabolisme yang tidak dibutuhkan oleh tubuh. Keseimbangan cairan setelah pengeluaran air bersama zat sisa pada oleh sistem ekskresi harus dikontrol melalui osmoregulasi. Osmoregulasi juga berperan penting dalam setiap proses transfer zat antar sel yang menggunakan air sebagai pelarut. Transfer zat tersebut antara lain terjadi dalam proses ekskresi, yaitu sistem pembuangan sisa metabolisme tubuh melalui ginjal, hati, kulit dan alat pernapasan. Oleh karena itu, memahami osmoregulasi merupakan hal yang penting untuk memahami sistem ekskresi tubuh makhluk hidup. Dengan demikian, jelaslah hubungan saling memengaruhi antara osmoregulasi dengan sistem ekskresi dalam tubuh manusia.

2. Bila keringat keluar secara berlebihan, perimbangan antara air dan garam-garam yang keluar sebagai keringat dengan pemasukan air ke dalam tubuh perlu untuk diperhatikan. Bila keringat terlalu banyak keluar dari tubuh tanpa kecukupan cairan pengganti yang masuk, maka tubuh kita dapat mengalami dehidrasi atau kekurangan cairan. Selain itu, pada beberapa orang yang sensitif, keringat yang berlebihan dapat menimbulkan masalah penyumbatan pori-pori kulit dan menimbulkan gatal-gatal biang keringat. Secara alami, bila tubuh kita mengeluarkan banyak keringat, maka pengeluaran dari ginjal berupa urin juga berkurang.

3. Pengaruh dari minuman-minuman isotonik yang banyak diiklankan sekarang ini sebagai “pengganti keringat”, dan apakah benar manfaat yang dijanjikannya? Minuman isotonik dibuat dengan komposisi yang dianggap bisa menyamai konsentrasi zat-zat terlarut dalam cairan tubuh, sehingga akan lebih cepat



diserap oleh tubuh. Larutan isotonik sederhana adalah oralit dan cairan infus dasar. Bila digunakan dengan tepat dan tidak berlebihan, minuman isotonik bermanfaat cepat mengembalikan cairan tubuh yang hilang akibat diare atau banyak keringat. Namun demikian perlu diwaspadai bahan-bahan pemanis, pewarna, perasa dan pengawet yang ditambahkan dalam minuman isotonik tersebut.

4. Mengapa paru-paru disebut juga menjalankan fungsi ekskresi?

Fungsi ekskresi organ paru-paru manusia adalah ketika mengeluarkan gas karbondioksida dan uap air sebagai sisa metabolisme penguraian gula menjadi energi.

KEGIATAN PEMBELAJARAN 2: ENZIM

- Jumlah gelembung yang dihasilkan menunjukkan jumlah gas oksigen yang dihasilkan dari reaksi antara H_2O_2 dan enzim peroksidase. Kondisi terlalu asam (H_2O), terlalu basa (ada NaOH), dan terlalu panas membuat enzim tidak bisa bekerja secara optimal. Dengan demikian tabung A akan memiliki gelembung gas paling banyak. Tuliskanlah hasil pengamatan Saudara apa adanya di kertas kerja.
- Jawaban sama dengan poin a. bara api menjadi indikator keberadaan gas oksigen.
- HCl membuat kondisi reaksi menjadi asam, NaOH membuat jadi basa, dan panas membuat suhu reaksi menjadi tinggi.
- Hati perlu dibuat ekstrak agar diperoleh jumlah sel enzim peroksidase yang lebih banyak disebabkan luas permukaan sel-sel hati yang mengeluarkan enzim tersebut semakin besar.
- Di dalam organ hati dan wortel terdapat kandungan yang tinggi enzim peroksidase yang menjadi penetralisir racun tubuh, yaitu asam peroksida (H_2O_2).
- Akan merusak sel-sel tubuh, jaringan tubuh, sehingga organ-organ tubuh akan mengalami banyak kerusakan. Jika organ-organ tubuh sudah rusak, maka yang timbul adalah penyakit.
- Kesimpulan akan berkaitan dengan kinerja enzim, dan faktor-faktor yang berpengaruh terhadap kinerja enzim seperti kondisi pH dan panas.



KEGIATAN PEMBELAJARAN 3: EVOLUSI

Bagian A

No	Kunci
1	A
2	B
3	D
4	A
5	C

Bagian B

1. Jawaban tergantung pemahaman peserta diklat, yang penting alasan dan bukti-bukti yang mendukung pendapatnya tadi. Jika jawabannya Teori Evolusi tidak runtuh bahkan merupakan teori penting alasannya diantaranya sebagai berikut:

Menurut Sintesis Modern: Evolusi adalah perubahan frekuensi alel dari suatu populasi persatuan waktu (mikro evolusi). Keseimbangan frekuensi alel dari suatu populasi dapat dipertahankan jika:

- 1) Ukuran populasi sangat besar. Dalam populasi yang besar, hanjutan/pergeseran genetik (*genetic drift*) yang merupakan fluktuasi acak dalam kumpulan gen tidak akan mengubah frekuensi alel.
- 2) Terisolasi dari populasi lain. Pada populasi yang terisolasi tidak akan ada aliran gen (perpindahan alel antar populasi akibat perpindahan individu atau gamet) yang dapat mengubah kumpulan gen.
- 3) Tidak ada mutasi. Pengubahan satu alel menjadi alel lain akibat mutasi akan mengubah frekuensi alel dan genotip suatu populasi.
- 4) Perkawinan acak. Dengan perkawinan acak frekwensi alel dan genotip akan mengikuti hukum pewarisan sifat Mendel, sehingga frekwensi alel dan genotip dapat dipertahankan tetap.
- 5) Tidak ada seleksi alam. Jika potensi kelangsungan hidup dan keberhasilan reproduksi pada semua individu sama, maka frekwensi alel dan genotip akan tetap dari generasi ke generasi.



Evolusi akan terjadi jika salah satu syarat tidak terpenuhi dan sangat tidak mungkin sekali di alam bebas kelima syarat tadi terus terpenuhi. Dengan demikian proses evolusi akan terjadi.

Hubungan evolusi di antara spesies dicerminkan dalam DNA dan proteinnya atau dalam gen dan produk gennya. Jika dua spesies memiliki pustaka gen dan protein dengan urutan monomer yang sangat bersesuaian, urutan itu pasti disalin dari nenek moyang yang sama. Biologi molekuler mendukung pemikiran Darwin yang paling berani, "bahwa semua bentuk kehidupan saling berhubungan sampai tingkat tertentu melalui cabang-cabang keturunan dari organisme yang paling awal". Bahkan organisme yang secara taksonomi berbeda jauh seperti manusia dan bakteri, memiliki beberapa protein yang sama, misalnya sitokrom c, suatu protein yang terlibat dalam respirasi seluler pada semua spesies aerob. Dengan demikian, biologi molekuler telah menambahkan babak terbaru dari bukti-bukti bahwa evolusi adalah dasar kesatuan dan keanekaragaman kehidupan.

2. Evolusi tidak menjamin bahwa populasi yang akan datang akan lebih cerdas, atau kompleks dibanding populasi sebelumnya. Tuntutan bahwa evolusi mengakibatkan kemajuan bukanlah bagian dari teori evolusi modern; itu berasal dari sistem kepercayaan sebelumnya yang terjadi waktu Darwin memikirkan teori evolusinya. Dalam banyak kasus evolusi menunjukkan "kemajuan" ke arah yang lebih tinggi kompleksitasnya, ketika bentuk kehidupan yang paling awal dan sangat sederhana dibandingkan dengan spesies yang ada sekarang. Namun, tidak ada jaminan bahwa semua organisme tertentu yang ada hari ini akan menjadi lebih cerdas, lebih rumit, lebih besar, atau lebih kuat di masa yang akan datang. Sebenarnya, seleksi alam hanya akan memilih sifat yang maju (kompleks) jika hal itu meningkatkan kesempatan untuk survival, yaitu suatu kemampuan untuk hidup cukup panjang untuk memperbanyak keturunan kepada kedewasaan seksual. Mekanisme yang sama dapat memilih kecerdasan yang lebih rendah, atau kompleksitas yang lebih rendah dan seterusnya jika ciri-ciri itu menjadi suatu keuntungan yang selektif di dalam lingkungan organisme tersebut.

EVALUASI

1. Zat yang **tidak** normal terkandung dalam urin seseorang antara lain:
 - A. Urea
 - B. Asam amino
 - C. Metabolit bakteri
 - D. Kelebihan obat
2. Fungsi pendingin suhu tubuh dari mekanisme pengeluaran keringat terjadi ketika....
 - A. keringat yang keluar tubuh mengandung urea.
 - B. keringat yang keluar tubuh mengandung garam.
 - C. cairan keringat yang keluar menguap di permukaan tubuh.
 - D. cairan keringat yang keluar diserap kembali oleh tubuh.
3. Zat yang diekskresikan oleh paru-paru adalah....
 - A. CaCO_3 dan uap air
 - B. CO_2 dan uap air
 - C. CaCO_3 dan H_2O
 - D. Zat-zat kimia berbahaya
4. Yang **bukan** menjadi tujuan hemodialisis adalah
 - A. Membuang produk metabolisme protein
 - B. Membuang kelebihan air
 - C. Mempertahankan kondisi asam-basa tubuh
 - D. Mengurangi kadar gula darah



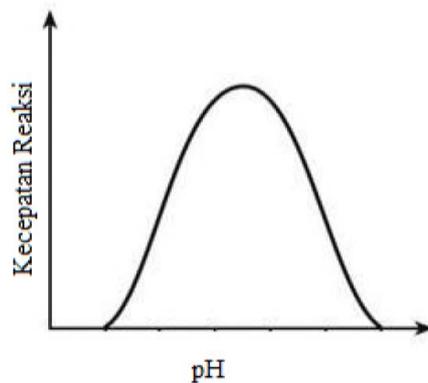
5. Dalam proses hemodialisis terjadi tiga proses utama, **kecuali**....
 - A. Difusi
 - B. Ultrafiltrasi
 - C. Reabsorpsi
 - D. Osmosis

6. Golongan darah, antigen lekosit, dan hasil uji silang antigen sangat menentukan pemilihan donor ginjal yang cocok untuk melakukan transplantasi atau pencangkokan ginjal, sebab berkaitan dengan...
 - A. pencegahan terjadinya infeksi resipien
 - B. pencegahan terjadinya reaksi penolakan resipien
 - C. pencegahan konsumsi obat immunosupresan
 - D. pencegahan menempelnya ginjal donor pada jaringan resipien

7. Pasangan yang **tidak tepat** antara zat yang diekskresikan dari tubuh dengan bagian tubuh yang mengekskresinya yaitu...
 - A. Kulit dengan larutan garam
 - B. Paru-paru dengan uap air
 - C. Ginjal dengan urea
 - D. Anus dengan feses

8. Enzim laktase dapat menghidrolisis gula laktosa tetapi tidak berpengaruh terhadap disakarida yang lain. Kondisi tersebut karena
 - A. hanya molekul laktosa yang sesuai bentuk sisi aktifnya dengan enzim laktose
 - B. ukuran molekul laktosa lebih besar daripada ukuran molekul enzim laktose
 - C. komposisi bahan penyusun molekul enzim laktose dan laktosa adalah sama
 - D. aktifitas molekul laktosa dan enzim laktose optimal pada suhu yang sama

9. Perhatikan gambar berikut ini.



Gambar tersebut menunjukkan aktivitas enzim dalam membantu reaksi yang di pengaruhi pH. Keterangan gambar yang tepat gambar ilustrasi tersebut adalah ...

- A. kerja enzim semakin meningkat seiring dengan meningkatnya pH
 - B. kecepatan reaksi semakin meningkat seiring dengan meningkatnya pH
 - C. satu jenis enzim bekerja dengan optimal pada pH larutan tertentu
 - D. satu jenis enzim akan semakin bekerja maksimal dengan meningkatnya pH
10. Suatu enzim yang terdapat dalam hati dengan konsentrasi yang tinggi, bekerja pada H_2O_2 sebagai hasil samping β oksidasi dan menghasilkan H_2O dan O_2 adalah enzim
- A. oksigenase
 - B. dehidrase
 - C. katalase
 - D. dehidrogenase
11. Berikut ini proses yang terjadi pada tubuh manusia.
- i. pengubahan amilum menjadi disakarida di mulut oleh enzim ptialin
 - ii. HCl di lambung dihasilkan untuk membunuh mikroorganisme merugikan yang masuk bersama makanan
 - iii. Pemecahan dipeptida menjadi asam amino di dalam usus halus oleh enzim yang dihasilkan oleh pankreas.
 - iv. Penyerapan air pada sisa-sisa makanan yang terjadi di usus besar
 - v. Pemecahan hidrogen peroksida hasil sisa metabolisme menjadi air dan gas oksigen di dalam hati



Proses yang merupakan jenis katabolisme adalah

- A. i, ii, dan iii
- B. i, iii, dan v
- C. ii, iv, dan v
- D. iii, iv, dan v

12. Berikut ini data hasil percobaan fermentasi glukosa oleh sel ragi. Data berdasarkan hasil pengamatan terbentuknya gas di tabung durham setelah 30 menit percobaan.

Perlakuan	Gas yang Dihasilkan
Glukosa+Ragi+HCl	+
Glukosa+Ragi+NaOH	+
Glukosa+Ragi+Dipanaskan pada Suhu 80°C	0
Glukosa+Ragi	+++

Berdasarkan hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa

- A. penambahan HCl tidak menghambat proses fermentasi sehingga dapat menghasilkan oksigen
- B. pemanasan menyebabkan glukosa rusak sehingga tidak dapat dipecah oleh sel ragi
- C. penambahan NaOH meningkatkan kadar pH sehingga enzim pada ragi tidak dapat bekerja dengan optimal
- D. Jika jumlah NaOH ditambah lagi, gas yang dihasilkan akan semakin banyak

13. Berikut ini data hasil pengamatan praktikum enzim katalase pada ekstrak hati terhadap hidrogen peroksida dengan berbagai perlakuan.

Tabung	Perlakuan	Jumlah Gelembung
A	Ekstrak hati + H ₂ O ₂	++++
B	Ekstrak hati + HCl + H ₂ O ₂	+
C	Ekstrak hati + NaOH + H ₂ O ₂	+



Berdasarkan perlakuan tersebut, tujuan praktikum yang tepat adalah

- A. mengidentifikasi jumlah gelembung yang dihasilkan proses katabolisme H_2O_2 oleh enzim katalase
 - B. mengidentifikasi pengaruh konsentrasi ekstrak hati dalam proses katabolisme
 - C. mengidentifikasi pengaruh penambahan garam-garam organik dalam proses katabolisme
 - D. mengidentifikasi pengaruh pH dalam proses katabolisme H_2O_2 oleh enzim katalase
14. Buku panduan mengenai kupu-kupu pernah mendata bahwa kupu-kupu X dan Y adalah dua spesies yang berbeda. Tetapi, penelitian terbaru menunjukkan bahwa mereka adalah bentuk di wilayah utara dan wilayah selatan satu spesies tunggal. Peneliti itu pasti menemukan bahwa kedua kupu-kupu tersebut adalah
- A. Berhasil Kawin Silang Di Alam
 - B. Hidup Dalam Habitat Yang Sama
 - C. Terisolasi Secara Reproduksi
 - D. Merupakan Spesies Alopatrik
15. Gagasan Malthus yang diadaptasikan Darwin ke dalam teori evolusinya:
- A. Untuk mempertahankan dirinya, manusia harus menyesuaikan diri.
 - B. umur Bumi dan perubahan secara bertahap
 - C. klasifikasi organisme secara bertingkat
 - D. catatan fosil
16. Manakah pernyataan berikut ini yang *bukan* merupakan hasil suatu pengamatan atau inferensi yang menjadi dasar seleksi alam?
- A. Individu yang adaptasinya kurang tidak pernah meninggalkan keturunan.
 - B. Karena hanya sebagian keturunan yang bertahan hidup, pasti terjadi perjuangan untuk mendapatkan sumberdaya yang terbatas.
 - C. Individu yang memiliki sifat yang dapat menyesuaikan diri dengan lingkungannya akan meninggalkan lebih banyak keturunan.
 - D. Keberhasilan reproduksi yang tidak sama pada setiap individu akan menyebabkan terjadinya adaptasi.



17. Tulang ekor pada manusia adalah.....
- struktur vestigial
 - struktur homolog
 - struktur analog
 - bukti degenerasi bagian tubuh yang jarang digunakan
18. Pernyataan manakah berikut ini yang menunjukkan kesamaan ide antara Darwin dan Lamarck?
- Adaptasi menghasilkan jumlah keturunan yang berbeda.
 - Evolusi mendorong organisme menjadi semakin kompleks.
 - Adaptasi dihasilkan dari konsep *Use* atau *Not Use* dari organ tubuh.
 - Adaptasi evolusi dihasilkan oleh interaksi individu dengan lingkungannya.
19. Manakah pernyataan berikut ini yang menurut pertimbangan Anda paling sedikit berperan dalam proses evolusi suatu spesies?
- Perubahan lingkungan.
 - Variasi di dalam keturunan.
 - Interaksi gen yang diwariskan.
 - Morfologi dan anatomi tubuh.
20. Di suatu kota terjadi wabah penyakit aneh yang disebabkan sejenis bakteri. Dari hasil penelitian diketahui antibiotik untuk menyembuhkan penyakit itu adalah penisilin, sehingga wabah penyakit tersebut dapat ditanggulangi. Namun, setelah sekian lama ternyata dosis penisilin yang diberikan kepada pasien harus ditingkatkan terus agar pasien bisa sembuh. Dari kasus ini menurutmu mengapa efektifitas penisilin berubah?
- Manusia mengembangkan antibodi yang membuat penisilin menjadi tidak efektif.
 - Terjadi seleksi alam yang membuat manusia resisten terhadap pengaruh penisilin.
 - Penggunaan terus menerus antibiotik meningkatkan resistensi manusia terhadap bakteri.
 - Beberapa bakteri memiliki resistensi terhadap antibiotik.

PENUTUP

Modul Profesional Guru Pembelajar Mata Pelajaran Biologi KK D yang berjudul Sistem Ekskresi, Enzim, dan Evolusi disiapkan untuk guru pada kegiatan ini baik secara mandiri maupun tatap muka di lembaga pelatihan atau di MGMP. Materi modul disusun sesuai dengan kompetensi pedagogik yang harus dicapai guru pada KK D. Guru dapat belajar dan melakukan kegiatan ini sesuai dengan rambu-rambu/instruksi yang tertera pada modul baik berupa diskusi materi, eksperimen, latihan, dan sebagainya. Modul ini juga mengarahkan dan membimbing peserta dan para widyaiswara/fasilitator untuk menciptakan proses kolaborasi belajar dan berlatih dalam pelaksanaan .

Untuk pencapaian kompetensi pada KK D ini, guru diharapkan secara aktif menggali informasi, memecahkan masalah dan berlatih soal-soal evaluasi yang tersedia pada modul.

Isi modul ini masih dalam penyempurnaan, masukan-masukan atau perbaikan terhadap isi modul sangat kami harapkan.



DAFTAR PUSTAKA

- Campbell, Neil A. *et al.* 2008. *Biologi Edisi Kedelapan Jilid 3*. Jakarta: Erlangga.
- Campbell, N.A. dkk. 2009. *Biology 8th Edition*. San Francisco: Benjamin Cummings.
- Gibson, John M.D. 1995. *Anatomi dan Fisiologi Modern Untuk Perawat*. Jakarta: Penerbit Buku Kedokteran EGC.
- Gottfried, S. *et. all.* 1987. *Biology*. New Jersey: Prentice-Hall, Inc, Englewood Cliffs.
- Hendriyani, Y. 2000. *Osmoregulasi*. Bandung: PPPPTK IPA.
- Iskandar, Dj.T. 2008. *Evolusi*. Bandung: Sekolah Ilmu Teknologi Hayati (SITH), ITB.
- Jim J. Bull. 2000. *Evolutionary Biology: Technology for the 21st Century*, conference paper. The Society for The Study of Evolution.
- Kimball, J.W. 1995. *Biologi Jilid 2*. Bandung: Erlangga.
- Mader, Sylvia S. *Biology 10th Edition International Edition 2010*. New York: Mc Graw Hill.
- Martini, Frederic. 2001. *Fundamentals of Anatomy & Physiology*. New Jersey: Prentice Hall.
- Manuel C., Molles Jr. 2008. *Ecology Concept & Applications Fourth Edition*. New York: McGraw-Hill International Edition.
- Price, Richard. 2008. *Teaching Secondary Biology*. London: Hodder Muray.
- Sastrodihardjo, S. 1980. *Teori Evolusi*, Bandung: Departemen Biologi, FMIPA, ITB.



- Anonim, 2008, *Understanding Evolution*,
<http://evolution.berkeley.edu/evolibrary/>, Februari 2008
- Anonim, 2008, *Evolution*, <http://www.bookrags.com/>, Februari 2008
- Bar-Yam, S., 2008, *Evolution*, NECSI, <http://necsi.org/projects/evolution/>,
Februari 2008.
- Rahadian, P., 2008, <http://poexpoe.files.wordpress.com/2008/06/sistem-ekskresi-manusia1.pdf>, diakses tgl 8 November 2010

GLOSARIUM

Aerob	:	Kondisi tersedia oksigen.
Aktivator	:	Sesuatu yang bisa menyebabkan mulainya suatu proses.
Aliran gen (<i>genetic flow</i>)	:	pertukaran variasi genetik antar populasi, ketika geografi dan kultur bukan rintangan.
Amilase	:	Enzim pengurai amilum.
Anabolisme	:	Pembentukan zat organik kompleks dari yang sederhana, asimilasi zat makanan oleh organisme untuk membangun atau memulihkan jaringan dan bagian-bagian hidup lainnya.
Anaerob	:	Kondisi tanpa oksigen.
Arteri atau nadi	:	pembuluh yang mengalirkan darah dari jantung.
Enzim	:	Protein yang dikhususkan untuk mengkatalisis reaksi metabolik tertentu.
Evolusi <i>theistik</i> (<i>theistic evolution</i>)	:	gagasan bahwa keimanan dan evolusi dapat diharmoniskan.
Filtrat	:	hasil penyaringan.
<i>Gene pool</i>	:	kumpulan gen
Hanjutan/pergeseran genetik (<i>genetic drift</i>)	:	perubahan dalam frekuensi gen pada suatu populasi kecil akibat kejadian acak.
Katabolisme (<i>catabolism</i>)	:	pemecahan nutrien (karbohidrat, lipida, dan protein) dalam jaringan hidup menghasilkan senyawaan BM lebih kecil, penting dalam menghasilkan energi dan biosintesis. Energi yang dibebaskan dari reaksi ini disimpan dalam bentuk ikatan fosfat (ATP) digunakan bila diperlukan



Makro evolusi	:	perubahan bertahap pada rentang waktu yang sangat panjang
Makromolekul	:	molekul yang sangat besar dengan berat molekul 10.000. dalton atau lebih, merupakan gabungan dari molekul yang lebih kecil dan mendukung adanya keragaman pada struktur organik.
Metabolisme	:	proses kimiawi yang terjadi dalam tubuh makhluk hidup.
Mikro evolusi	:	perubahan frekuensi alel dari suatu populasi persatuan waktu.
Mutasi	:	perubahan DNA suatu organisme.
Neo-Darwinisme	:	teori evolusi komprehensif yang menggabungkan Darwinisme dengan Mendelisme yang selanjutnya dikenal sebagai sintesis modern (<i>modern synthesis</i>).
Organ tubuh	:	sekelompok jaringan yang melakukan fungsi tertentu.
Pembuluh darah kapiler	:	pembuluh darah yang berukuran sangat kecil, dindingnya tersusun dari satu atau dua lapisan sel untuk memudahkan keluar-masuknya zat-zat dari maupun ke dalam darah.
Seleksi alam	:	suatu proses alami yang akan menghasilkan individu yang survive atau kelompok terbaik yang sesuai dengan kondisi di mana mereka hidup.
Sistem organ	:	sekelompok organ yang saling bekerjasama dalam melaksanakan fungsi tertentu.
Urin	:	sisa metabolisme tubuh berupa cairan yang diproses di ginjal, yang dikeluarkan melalui sistem urogenital.
Vena	:	pembuluh yang mengalirkan darah menuju jantung.



**Pusat Pengembangan dan Pemberdayaan Pendidik
dan Tenaga Kependidikan Ilmu Pengetahuan Alam (PPPPTK IPA)**
DIREKTORAT JENDERAL GURU DAN TENAGA KEPENDIDIKAN
KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
TAHUN 2016