



MODUL  
TEMA 12



# Perubahan Makanan Menjadi Energi

BIOLOGI PAKET C SETARA SMA/MA KELAS XII



Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan  
Direktorat Jenderal PAUD, Pendidikan Dasar, dan Pendidikan Menengah  
Direktorat Pendidikan Masyarakat dan Pendidikan Khusus  
Tahun 2020





MODUL  
TEMA 12



# Perubahan Makanan Menjadi Energi

BIOLOGI PAKET C SETARA SMA/MA KELAS XII



Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan  
Direktorat Jenderal PAUD, Pendidikan Dasar, dan Pendidikan Menengah  
Direktorat Pendidikan Masyarakat dan Pendidikan Khusus  
Tahun 2020

Biologi Paket C Setara SMA/MA Kelas XII  
Modul Tema 12 : Perubahan Makanan Menjadi Energi

- **Penulis:** Harianto Baharuddin, S.Pd.; Idham Khalik Idrus, S.Pd.
- **Editor:** Dr. Samto; Dr. Subi Sudarto  
Dra. Maria Listiyanti; Dra. Suci Paresti, M.Pd.; Apriyanti Wulandari, M.Pd.
- **Diterbitkan oleh:** Direktorat Pendidikan Masyarakat dan Pendidikan Khusus–Direktorat Jenderal Pendidikan Anak Usia Dini, Pendidikan Dasar, dan Pendidikan Menengah–Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan

iv+ 56 hlm + ilustrasi + foto; 21 x 28,5 cm

## Kata Pengantar

Pendidikan kesetaraan sebagai pendidikan alternatif memberikan layanan kepada masyarakat yang karena kondisi geografis, sosial budaya, ekonomi dan psikologis tidak berkesempatan mengikuti pendidikan dasar dan menengah di jalur pendidikan formal. Kurikulum pendidikan kesetaraan dikembangkan mengacu pada kurikulum 2013 pendidikan dasar dan menengah hasil revisi berdasarkan peraturan Mendikbud No.24 tahun 2016. Proses adaptasi kurikulum 2013 ke dalam kurikulum pendidikan kesetaraan adalah melalui proses kontekstualisasi dan fungsionalisasi dari masing-masing kompetensi dasar, sehingga peserta didik memahami makna dari setiap kompetensi yang dipelajari.

Pembelajaran pendidikan kesetaraan menggunakan prinsip flexible learning sesuai dengan karakteristik peserta didik kesetaraan. Penerapan prinsip pembelajaran tersebut menggunakan sistem pembelajaran modular dimana peserta didik memiliki kebebasan dalam penyelesaian tiap modul yang di sajikan. Konsekuensi dari sistem tersebut adalah perlunya disusun modul pembelajaran pendidikan kesetaraan yang memungkinkan peserta didik untuk belajar dan melakukan evaluasi ketuntasan secara mandiri.

Tahun 2017 Direktorat Pembinaan Pendidikan Keaksaraan dan Kesetaraan, Direktorat Jendral Pendidikan Anak Usia Dini dan Pendidikan Masyarakat mengembangkan modul pembelajaran pendidikan kesetaraan dengan melibatkan Pusat Kurikulum dan Perbukuan Kemdikbud, para akademisi, pamong belajar, guru dan tutor pendidikan kesetaraan. Modul pendidikan kesetaraan disediakan mulai paket A tingkat kompetensi 2 (kelas 4 Paket A). Sedangkan untuk peserta didik Paket A usia sekolah, modul tingkat kompetensi 1 (Paket A setara SD kelas 1-3) menggunakan buku pelajaran Sekolah Dasar kelas 1-3, karena mereka masih memerlukan banyak bimbingan guru/tutor dan belum bisa belajar secara mandiri.

Kami mengucapkan terimakasih atas partisipasi dari Pusat Kurikulum dan Perbukuan Kemdikbud, para akademisi, pamong belajar, guru, tutor pendidikan kesetaraan dan semua pihak yang telah berpartisipasi dalam penyusunan modul ini.

Jakarta, 1 Juli 2020  
Plt. Direktur Jenderal



Hamid Muhammad

**Modul Dinamis:** Modul ini merupakan salah satu contoh bahan ajar pendidikan kesetaraan yang berbasis pada kompetensi inti dan kompetensi dasar dan didesain sesuai kurikulum 2013. Sehingga modul ini merupakan dokumen yang bersifat dinamis dan terbuka lebar sesuai dengan kebutuhan dan kondisi daerah masing-masing, namun merujuk pada tercapainya standar kompetensi dasar.



## Daftar Isi

Kata Pengantar .....	iii
Daftar Isi .....	iv
Petunjuk Penggunaan dan Kriteria Pindah Modul .....	1
Tujuan Diharapkan setelah Mempelajari Modul .....	2
Pengantar Modul .....	2
<b>UNIT 1 ENZIM SANG BOKATALISATOR .....</b>	<b>4</b>
A. Konsep Metabolisme .....	4
B. Struktur Enzim.....	5
C. Sifat Enzim.....	6
D. Cara Kerja Enzim .....	7
E. Faktor-Faktor yang Memengaruhi Cara Kerja Enzim .....	8
Penugasan 1.1 .....	10
<b>UNIT 2 PEMBENTUKAN SUMBER ENERGI PADA BAHAN MAKANAN .....</b>	<b>13</b>
A. Anabolisme .....	13
B. Kloroplas sebagai Tempat Berlangsungnya Fotosintesis.....	14
C. Fotosintesis .....	15
D. Faktor-faktor yang Memengaruhi Fotosintesis .....	18
E. Kemosintesis.....	18
Penugasan 2.1 .....	20
<b>UNIT 3 MENGHASILKAN ENERGI UNTUK PROSES KEHIDUPAN..</b>	<b>23</b>
A. Katabolisme Karbohidrat.....	23
B. Mitokondria sebagai Tempat Berlangsungnya Respirasi Aerob ..	24
C. Respirasi Aerob .....	24
D. Respirasi Anaerob .....	28
E. Katabolisme Lemak dan Protein .....	29
Penugasan 3.1 .....	31
Rangkuman .....	33
Latihan Soal .....	34
Kriteria Ketuntasan Modul .....	40
Kunci Jawaban dan Pembahasan .....	41
Rubrik Penilaian .....	46
Saran Referensi .....	50
Daftar Pustaka .....	51
Sumber Gambar.....	51
Glosarium .....	52
Biodata Penulis .....	55



## Petunjuk Penggunaan Modul

Materi modul ini disusun secara berurutan dengan urutan materi yang terlebih dahulu perlu dikuasai sesuai dengan prinsip pembelajaran yaitu belajar dari yang konkrit ke yang semakin abstrak, dari mudah ke yang semakin sulit, dari yang dekat dengan lingkungannya ke yang semakin jauh dengan lingkungannya, Dalam setiap unit selalu disajikan beberapa kegiatan. Misalnya, kegiatan penugasan, kegiatan latihan soal, dan sebagainya.

Cepat atau lambat penyelesaian modul tersebut sangat tergantung pada kesungguhan Anda dalam mempelajarinya. Untuk dapat memahami modul secara baik, Ikutilah petunjuk belajar berikut ini agar Anda dapat memahami isi modul ini dengan baik.

1. Yakinkan diri Anda telah siap untuk belajar.
2. Tenangkan pikiran dan pusatkan perhatian Anda pada modul yang akan Anda pelajari.
3. Berdoalah sejenak sesuai agama dan keyakinan Anda dan sekarang Anda siap untuk belajar.
4. Baca dan pahami secara mendalam tujuan yang harus dicapai setelah melakukan pembelajaran
5. Baca dan pahami pengantar modul dengan seksama.
6. Bacalah materi modul secara seksama. tandai dan catat materi yang belum/ kurang Anda pahami.
7. Diskusikan materi-materi yang belum dipahami dengan teman, tutor/ pendidik, dan/ atau orang yang dianggap ahli dalam bidang ini.

8. Carilah beragam sumber atau bacaan lain yang relevan untuk menunjang pemahaman dan wawasan tentang materi yang sedang Anda pelajari.
9. Kerjakan semua penugasan yang ada pada modul untuk mendapatkan pemahaman mengenai materi modul dengan baik.
10. Lakukan penilaian pemahaman dengan mengisi soal-soal latihan yang disediakan di akhir modul.
11. Jika hasil Anda belum memuaskan jangan putus asa, cobalah lebih giat lagi belajar.
12. Selamat mempelajari modul ini !

## Tujuan yang Diharapkan Setelah Mempelajari Modul

Setelah membaca dan mempelajari modul ini, Anda diharapkan memiliki kemampuan:

1. Memahami proses metabolisme yang terjadi pada tubuh makhluk hidup.
2. Memahami faktor-faktor yang membantu proses metabolisme pada makhluk hidup.
3. Mampu mengidentifikasi metabolisme yang terjadi pada makhluk hidup.
4. Mampu melakukan percobaan sederhana terkait dengan proses metabolisme pada makhluk hidup dan melaporkan hasilnya secara tertulis.
5. Mengkomunikasikan hasil studi pustaka terkait metabolisme pada makhluk hidup.

## Pengantar Modul



Gambar 1. Biji-bijian sebagai bahan makanan  
Sumber: <http://dosenpendidikan.com>

Gambar di atas merupakan bahan makanan yang mengandung karbohidrat sebagai hasil dari fotosintesis. Manusia mengkonsumsi makanan untuk memperoleh energi melalui proses respirasi. Proses fotosintesis dan respirasi merupakan rangkaian reaksi kimia di dalam sel yang disebut metabolisme. Metabolisme akan mengubah makanan dan minuman yang Anda konsumsi menjadi energi. Energi dibutuhkan oleh tubuh agar sel dan jaringan tubuh tetap sehat, tumbuh dan berkembang, serta fungsinya berjalan dengan baik. Semua makhluk hidup membutuhkan energi untuk beraktivitas.

Pembahasan modul ini diawali dengan Unit 1 yang memperkenalkan Anda mengenai enzim yang merupakan senyawa penting pada proses metabolisme. Selanjutnya pada Unit 2 mengajak Anda memahami proses pembentukan sumber energi dalam bahan makanan melalui fotosintesis oleh tumbuhan dan melalui kemosintesis oleh bakteri. Pembahasan pada Unit 3 mengajak Anda memahami proses pembentukan energi dari hasil mengkonsumsi bahan makanan untuk beraktivitas.

Bagaimana reaksi-reaksi kimiawi dalam proses metabolisme? Komponen-komponen apa sajakah yang terlibat dalam metabolisme? Bagaimana proses fotosintesis dan respirasi kaitannya dengan metabolisme? Anda akan mempelajari dan menemukan jawaban dari pertanyaan-pertanyaan di atas pada Modul 12 Perubahan Makanan Menjadi Energi.

Selama mempelajari modul ini Anda disarankan untuk membuat catatan mengenai materi pembelajaran yang menurut Anda perlu didiskusikan pada saat kegiatan pembelajaran secara tatap muka dilaksanakan. Selain penjelasan mengenai materi, modul ini juga dilengkapi dengan latihan untuk menguji pemahaman dan penguasaan Anda terhadap materi yang telah dipelajari.

Modul ini dapat digunakan sebagai bahan belajar mandiri. Dalam modul ini juga disertakan referensi link dari sumber belajar online yang dapat Anda buka untuk menambah khasanah pengetahuan Anda.



# UNIT 1

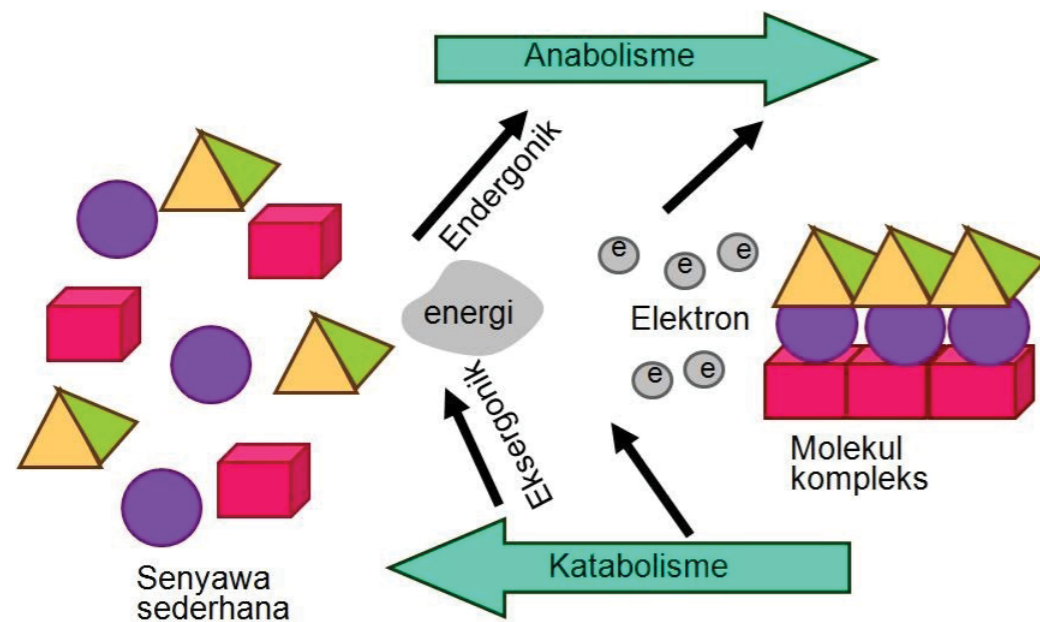
## Enzim Sang Biokatalisator

### Kata Kunci

- Anabolisme
- Apoenzim
- Biokatalisator
- Enzim
- Inhibitor
- Katabolisme
- Kofaktor
- Teori gembok dan kunci
- Teori kecocokan induksi

### A. Konsep Metabolisme

Makhluk hidup memerlukan energi untuk melangsungkan proses kehidupannya. Organisme autotrof mengubah energi cahaya matahari menjadi energi kimia yang tersimpan dalam zat makanan. Selanjutnya organisme heterotrof mengubah energi kimia dalam zat makanan menjadi energi panas dan energi gerak. Rangkaian proses perubahan bentuk energi ini disebut metabolisme.



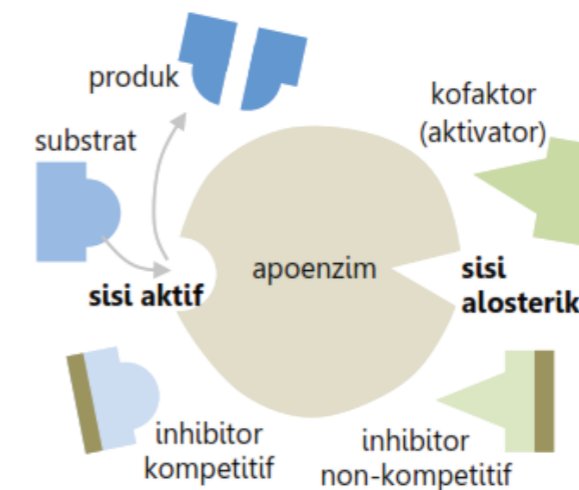
Gambar 2. Konsep Metabolisme  
Sumber: <http://umum-pengertian.blogspot.co.id>.

Metabolisme berasal dari kata “metabole” yang artinya perubahan. Ada dua macam metabolisme, yaitu anabolisme dan katabolisme. Anabolisme merupakan reaksi penyusunan senyawa-senyawa sederhana menjadi senyawa yang lebih kompleks dan memerlukan energi (endergonik). Sedangkan katabolisme merupakan reaksi pembongkaran senyawa kompleks menjadi senyawa-senyawa yang lebih sederhana dan menghasilkan energi (eksergonik). Proses metabolisme melibatkan enzim dan ATP (adenosin trifosfat). Enzim diperlukan untuk mempercepat terjadinya reaksi sedangkan ATP berperan sebagai penyedia energi.

Cobalah Anda mengunyah nasi sekitar 30 kali, apakah Anda merasakan manisnya nasi setelah dikunyah dalam waktu lama? Mengapa hal tersebut bisa terjadi? Di dalam rongga mulut terdapat enzim amilase yang terlibat dalam pencernaan kimiawi. Marilah mempelajari unit 2.1 ini untuk mengenal enzim lebih dekat.

### B. Struktur Enzim

Enzim merupakan molekul protein yang berperan sebagai katalisator, yaitu enzim dapat mempercepat berbagai proses reaksi kimia di dalam tubuh makhluk hidup tetapi enzim tersebut tidak ikut bereaksi sehingga enzim tidak akan memengaruhi kesetimbangan reaksi. Enzim tersusun atas dua bagian yang saling berpasangan, yaitu apoenzim dan kofaktor.



Gambar 3. Struktur Enzim  
Sumber: <http://materi78.wordpress.com>

#### 1. Apoenzim

Apoenzim merupakan bagian enzim yang berupa senyawa protein sehingga memiliki sifat tidak tahan panas. Apoenzim terdiri atas bagian-bagian berikut:

a. Sisi Aktif

Sisi aktif berikatan dengan substrat. Substrat adalah zat yang akan dijadikan produk. Sisi aktif dapat diganggu oleh inhibitor kompetitif yang berstruktur sama dengan substrat. Inhibitor akan mencegah substrat untuk berikatan dengan enzim.

b. Sisi Alosterik

Sisi alosterik berikatan dengan koenzim (kofaktor enzim). Sisi alosterik dapat diganggu oleh kehadiran inhibitor non-kompetitif yang memiliki struktur sama dengan kofaktor. Inhibitor dapat mencegah enzim untuk berikatan dengan substrat.

2. Kofaktor/Aktivator Enzim

Kofaktor merupakan bagian enzim yang berupa senyawa non-protein dan bersifat tahan panas. Enzim yang telah berikatan dengan kofaktor disebut holoenzim. Kofaktor dapat mengubah-ubah bentuk sisi aktif agar dapat berikatan dengan substrat. Kofaktor enzim dibedakan atas:

a. Koenzim

Koenzim merupakan kofaktor berupa senyawa organik (vitamin) yang berikatan secara non-kovalen dengan enzim. Contohnya koenzim NAD+.

b. Gugus Prostetik

Gugus prostetik merupakan kofaktor berupa senyawa anorganik (mineral) yang berikatan secara kovalen dengan enzim. Contohnya Cl- dan Ca2+ pada enzim amilase.

C. Sifat Enzim

Enzim memiliki sifat-sifat sebagai berikut

1. Merupakan biokatalisator, yaitu enzim dapat mempercepat proses reaksi tetapi tidak ikut bereaksi.
2. Mempercepat laju reaksi, namun tidak mengubah komposisi produk.
3. Terlibat dalam jalannya reaksi, namun jumlahnya tidak berubah.
4. Menurunkan energi aktivasi.
5. Hanya dapat mengkatalisis reaksi tertentu atau hanya dapat bekerja pada satu jenis substrat.
6. Dibutuhkan dalam jumlah sedikit.
7. Kerjanya dapat dihambat oleh zat tertentu.

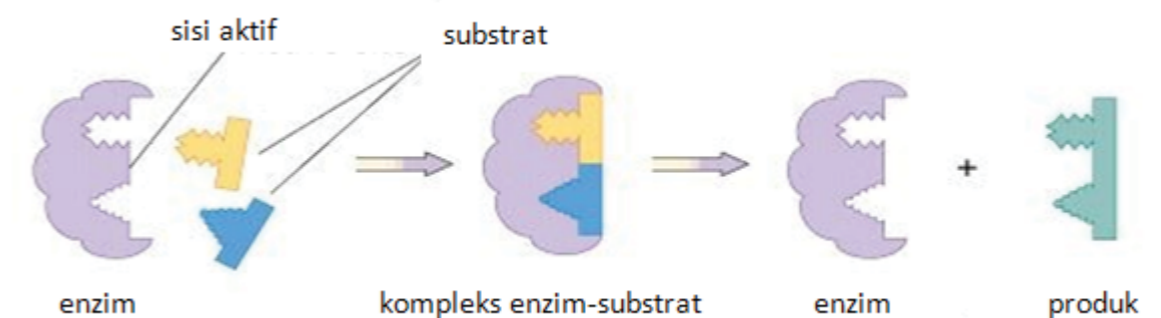
8. Dapat bekerja dalam reaksi bolak-balik (menyusun senyawa atau menguraikan senyawa).

D. Cara Kerja Enzim

Ada dua teori mengenai cara kerja enzim, yaitu teori gembok dan kunci (lock and key) dan teori kecocokan terinduksi (induced fit).

1. Teori Gembok dan Kunci (Lock and Key)

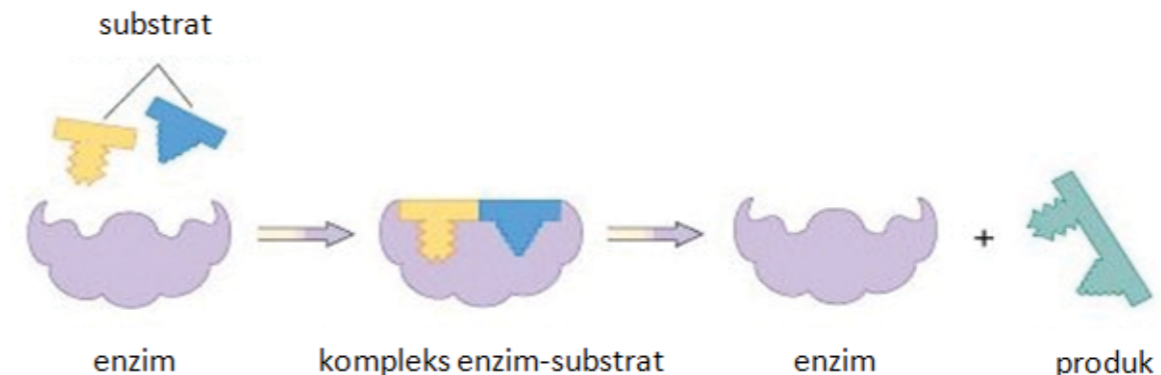
Menurut teori ini, suatu enzim hanya bekerja untuk satu jenis substrat saja yang akan berikatan pada sisi aktif. Enzim diibaratkan sebagai gembok dan substrat diibaratkan sebagai kunci. Enzim bergabung dengan substrat membentuk kompleks enzim-substrat. Substrat diubah menjadi produk kemudian lepas dari enzim.



Gambar 4. Mekanisme Kerja Enzim Menurut Teori Kunci dan Gembok  
Sumber: Dokumentasi penulis

2. Teori Kecocokan Terinduksi (Induced Fit)

Menurut teori ini kofaktor atau aktivator enzim akan berikatan dengan sisi alosterik dengan cara mengubah bentuk sisi aktif enzim agar dapat mengikat substrat tertentu. Substrat kemudian diubah menjadi produk dan lepas dari enzim. Enzim dapat digunakan kembali untuk substrat berikutnya.



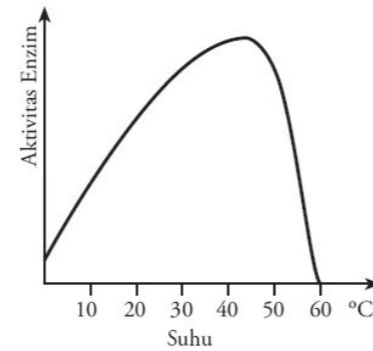
Gambar 5. Mekanisme Kerja Enzim Menurut Teori Kecocokan Terinduksi  
Sumber: Dokumentasi penulis

## E. Faktor-faktor yang Memengaruhi Kerja Enzim

Faktor yang memengaruhi kerja enzim antara lain adalah konsentrasi enzim dan kofaktor, konsentrasi substrat, konsentrasi inhibitor, suhu dan pH.

### 1. Suhu

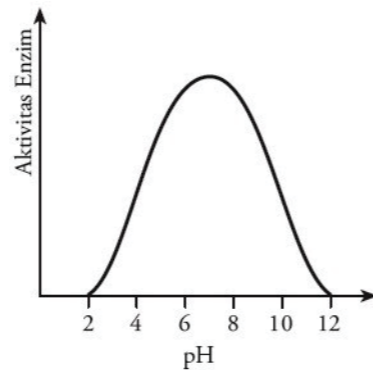
Aktivitas enzim meningkat pada suhu optimum sampai suatu suhu maksimum (sekitar 40°C). Suhu yang terlalu tinggi (>40°C) menyebabkan enzim tidak bekerja karena struktur enzim rusak akibat mengalami denaturasi protein. Enzim yang mengalami denaturasi tidak dapat digunakan kembali. Suhu yang terlalu rendah (<30°C) menyebabkan enzim tidak bekerja karena enzim mengalami inaktivasi. Enzim yang mengalami inaktivasi masih dapat digunakan jika suhu kembali normal.



Gambar 6. Grafik Pengaruh Suhu terhadap Aktivitas Enzim  
Sumber: <http://nafiun.com>

### 2. Derajat Keasaman (pH)

Derajat keasaman atau pH dapat memengaruhi struktur protein pada sisi aktif, sehingga substrat untuk berikatan. Enzim memiliki pH optimum berbeda-beda, dan jika tidak pada pH optimum, enzim dapat mengalami denaturasi protein. Contohnya enzim amilase bekerja pada pH netral agak basa, enzim pepsinogen bekerja pada pH sangat asam, dan maltase bekerja pada pH basa.



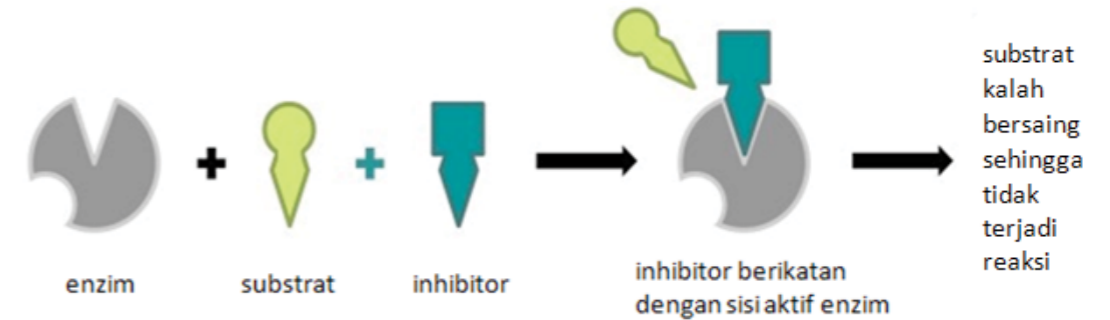
Gambar 7. Grafik Pengaruh pH  
Sumber: <http://nafiun.com>

### 3. Inhibitor (Zat Penghambat)

Inhibitor merupakan senyawa kimia tertentu dapat menghambat kerja enzim. Inhibitor dibedakan atas inhibitor kompetitif dan inhibitor nonkompetitif.

#### a. Inhibitor Kompetitif

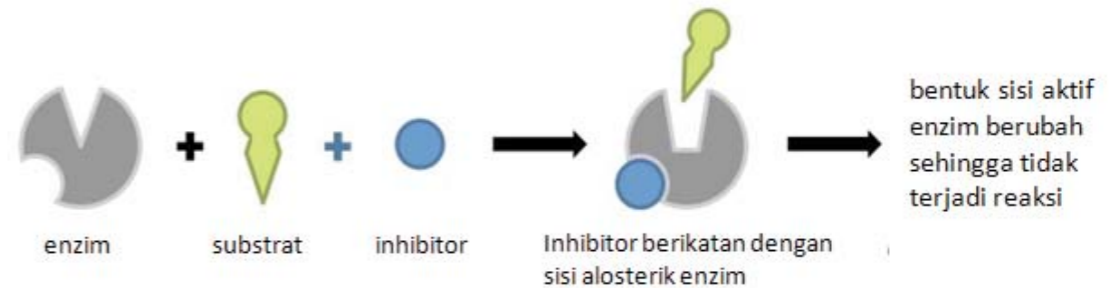
Inhibitor memiliki bentuk sisi yang cocok dengan bentuk sisi aktif enzim sehingga bersaing secara langsung dengan substrat untuk berikatan dengan sisi aktif enzim. Jika inhibitor berhasil berikatan dengan enzim, maka reaksi antara enzim dengan substrat tidak akan terjadi.



Gambar 8. Mekanisme Kerja Inhibitor Kompetitif  
Sumber: Dokumentasi penulis

#### b. Inhibitor Nonkompetitif

Inhibitor tidak bersaing secara langsung dengan substrat karena berikatan pada sisi alosterik enzim. Jika inhibitor berhasil berikatan dengan enzim, maka bentuk sisi aktif enzim akan berubah bentuk sehingga tidak cocok lagi dengan bentuk substrat.



Gambar 9. Mekanisme Kerja Inhibitor Nonkompetitif  
Sumber: Dokumentasi penulis

### 4. Aktivator

Aktivator merupakan molekul yang mempermudah terjadinya ikatan antara enzim dan substrat. Aktivator berikatan pada sisi alosterik enzim dan mengubah bentuk sisi aktif enzim sehingga cocok untuk berikatan dengan substrat.

### 5. Konsentrasi

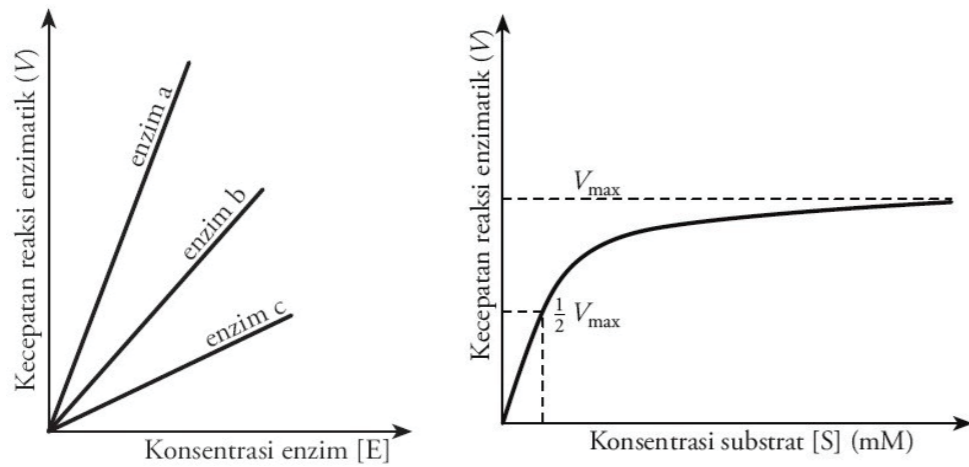
#### a. Konsentrasi Enzim

Konsentrasi enzim yang lebih besar dari substrat akan mempercepat laju reaksi (mempercepat pembentukan produk).

#### b. Konsentrasi Substrat

Konsentrasi substrat yang lebih besar dari enzim akan memperlambat laju reaksi sehingga tidak semua substrat akan dikatalis (bereaksi dengan enzim).





Gambar 10. Grafik Pengaruh Konsentrasi Enzim dan Substrat terhadap Aktivitas Enzim  
Sumber: <http://nafiun.com>

c. Konsentrasi Inhibitor

Konsentrasi inhibitor yang besar akan memperlambat laju reaksi (menghambat pembentukan produk). Cara mencegah inhibitor menghambat pembentukan produk adalah dengan meningkatkan konsentrasi enzim, substrat, dan aktivator.

## Penugasan 1

Membuat ringkasan dan kesimpulan hasil percobaan mengenai faktor-faktor yang memengaruhi kerja enzim melalui kegiatan kajian pustaka.

## Tujuan

Anda diharapkan mampu:

- Membuat ringkasan dan kesimpulan hasil percobaan mengenai faktor-faktor yang memengaruhi kerja enzim berdasarkan data hasil percobaan yang ada melalui kegiatan kajian pustaka
- Menumbuhkan semangat literasi baca tulis dan sains

## Media

- Alat tulis
- Kertas/lembar jawaban
- Buku/sumber belajar lain yang mendukung

## Langkah - langkah

- Lakukan kajian pustaka dari berbagai sumber untuk membantu Anda menyelesaikan tugas
- Cermatilah data pada tabel hasil pengamatan.
- Kerjakanlah pertanyaan yang diberikan pada tugas ini
- Kumpulkan hasil pekerjaan Anda pada tutor.

### Percobaan Faktor-faktor yang Memengaruhi Kerja Enzim Katalase

#### Tabel hasil pengamatan

No	Perlakuan percobaan	Ekstrak hati + Hidrogen peroksida (H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> )	
		Gelembung	Nyala api
1	Ekstrak hati + H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (netral)	+++	++
2	Ekstrak hati + HCL + H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (asam)	-	-
3	Ekstrak hati + NaOH + H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (basa)	+	-
4	Ekstrak hati + H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (dalam air panas)	+	-
5	Ekstrak hati dingin + H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (dalam es)	+	+

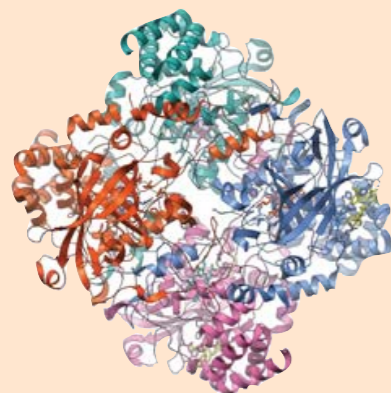
Keterangan:

- +++ = gelembung gas banyak/nyala api besar
- ++ = gelembung gas sedang/nyala api sedang
- + = gelembung gas sedikit/nyala api kecil
- = gelembung gas tidak ada/nyala api tidak ada

### Pertanyaan

1. Apakah fungsi enzim katalase yang terdapat pada ekstrak hati?
2. Faktor-faktor apa saja yang memengaruhi kerja enzim katalase?
3. Buatlah ringkasan pembahasan dari hasil percobaan tersebut!
4. Buatlah kesimpulan hasil percobaan tersebut!

### BIOINFO : Peran Enzim Katalase Bagi Kehidupan



Gambar 11. Model Enzim Katalase

Sumber: <https://id.wikipedia.org/>

Enzim katalase dapat ditemukan pada hati. Enzim katalase berperan untuk melawan efek radikal bebas di dalam tubuh dengan mengubah radikal superoksida berbahaya menjadi hidrogen peroksida yang kemudian terurai menjadi oksigen dan air yang bermanfaat untuk tubuh. Penumpukan radikal bebas akan membuat Anda lebih rentan mengalami infeksi, penyakit sendi, penyakit kardiovaskuler, penyakit saraf, gangguan mental, hingga ikut memicu penuaan dini. Mengingat pentingnya peranan enzim katalase bagi tubuh, sangat penting bagi kita untuk menjaga hati dari kerusakan, seperti dengan menghindari konsumsi alkohol, obat-obatan kimia secara berlebihan, kurang tidur, hingga merokok.

Enzim katalase juga dimanfaatkan dalam berbagai industri seperti pembersih lensa kontak, produk kecantikan, industri tekstil, dan industri makanan.

## UNIT 2

# Pembentukan Sumber Energi Pada Bahan Makanan

### Kata Kunci

- Aliran electron
- Fotosintesis
- Kloroplas
- Enzim rubisko
- Glukosa
- Reaksi terang
- Fotosistem
- Kemosintesis
- Siklus Calvin

### A. Anabolisme

Anabolisme merupakan reaksi penyusunan senyawa-senyawa sederhana menjadi senyawa organik yang lebih kompleks. Anabolisme membutuhkan sejumlah energi yang berasal dari cahaya matahari atau dari reaksi kimia. Salah satu contoh reaksi anabolisme adalah fotosintesis yang dilakukan oleh tumbuhan, seperti yang dapat Anda lihat pada gambar di bawah ini. Tanaman padi menghasilkan beras sebagai hasil fotosintesisnya dan beras merupakan salah satu sumber energi bagi manusia.



Gambar 12. Tanaman Padi yang Berfotosintesis di Siang Hari  
Sumber: <http://edubio.info>





Aliran elektron siklik	Aliran elektron non-siklik
Melibatkan fotosistem I	Melibatkan fotosistem I dan II
Terjadi pembentukan ATP	Terjadi pembentukan ATP dan NADPH
Berperan dominan jika jumlah ATP untuk reaksi gelap kurang	Berperan dominan jika jumlah ATP untuk reaksi gelap cukup

Tabel 2.2. Perbandingan Aliran Elektron Siklik dan Non Siklik

Reaksi terang terjadi melalui tiga tahap, yaitu:

a. Fotolisis

Fotolisis merupakan reaksi pemecahan molekul air dengan bantuan cahaya matahari. Fotolisis melepaskan oksigen ke lingkungan atau digunakan sel untuk respirasi.

b. Fotofosforilasi

Fotofosforilasi merupakan reaksi pengikatan fosfat oleh ADP (adenosin difosfat) membentuk ATP (adenosin trifosfat) dengan bantuan cahaya matahari.

c. Pembentukan NADPH

Pada prosesnya terjadi reaksi penangkapan ion H<sup>+</sup> oleh NADP<sup>+</sup> membentuk NADPH (nikotinamida adenin dinukleotida fosfat) yang terjadi melalui aliran elektron non-siklik.

2. Reaksi Gelap (Siklus Calvin)

Reaksi gelap tidak bergantung pada cahaya matahari dan prosesnya terjadi pada stroma. Reaksi gelap terjadi jika reaksi terang telah berlangsung. Reaksi gelap terjadi melalui tiga tahapan, yaitu:

a. Fiksasi Karbon

Fiksasi karbon merupakan reaksi pengikatan karbondioksida (CO<sub>2</sub>) oleh senyawa ribulosa 1,5-bifosfat (RuBP) dibantu enzim rubisko menghasilkan senyawa 3-fosfoglisarat (PGA).

b. Reduksi Karbon

Reaksi pengikatan PGA dengan ATP membentuk senyawa 1,3-bifosfoglisarat (BPG). Selanjutnya BPG akan tereduksi oleh elektron dari NADPH membentuk senyawa gliseraldehida 3-fosfat (PGAL). Untuk setiap dua molekul PGAL akan membentuk satu molekul glukosa (C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>6</sub>) sehingga untuk menghasilkan satu molekul glukosa dibutuhkan dua kali Siklus Calvin.

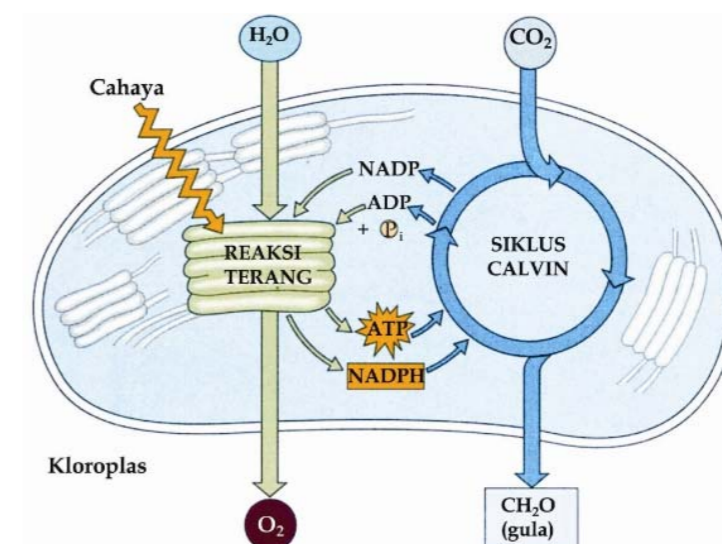
c. Regenerasi RuBP

Sisa molekul PGAL akan mengikat fosfat dari penguraian ATP untuk membentuk kembali RuBP.

Perbandingan antara reaksi terang dan reaksi gelap dapat dilihat pada Tabel 2.3 berikut.

Perbedaan	Reaksi Terang	Reaksi Gelap
Tempat terjadi	Tilakoid/grana	Stroma
Bahan (Reaktan)	Air (H <sub>2</sub> O) dan cahaya matahari	Karbondioksida (CO <sub>2</sub> ), ATP, dan NADPH
Hasil (Produk)	Oksigen (O <sub>2</sub> ), ATP dan NADPH	Glukosa (C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>6</sub> ) atau gula (C <sub>n</sub> H <sub>2</sub> O <sub>n</sub> ) lainnya
Tahapan	<ul style="list-style-type: none"> <li>Fotolisis</li> <li>Fotofosforilasi</li> <li>Pembentukan NADPH</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Fiksasi karbon</li> <li>Reduksi karbon</li> <li>Regenerasi RuBP</li> </ul>
(Reaktan) $6 \text{ H}_2\text{O} + 6 \text{ CO}_2$ (RT) (RG)		(Produk) $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6 \text{ O}_2$ (RG) (RT)
Keterangan: RT = reaksi terang, RG = reaksi gelap		

Tabel 2.3. Perbandingan Reaksi Terang dan Reaksi Gelap



Gambar 14. Skema Reaksi Terang dan Reaksi Gelap pada Kloroplas  
Sumber: <http://ritaelfianis.com>



## D. Faktor-faktor yang Memengaruhi Fotosintesis

Faktor lingkungan yang memengaruhi fotosintesis adalah sebagai berikut:

### 1. Intensitas Cahaya

Semakin tinggi intensitas cahaya, maka semakin tinggi laju fotosintesis, tetapi jika intensitas terlalu tinggi dapat merusak klorofil dan menyebabkan sel-sel daun kehilangan cairan.

### 2. Panjang Gelombang Cahaya

Cahaya matahari terdiri atas beberapa spektrum cahaya yang memiliki panjang gelombang berbeda-beda. Cahaya yang dapat dimanfaatkan untuk fotosintesis adalah cahaya tampak. Cahaya tampak yang memiliki panjang gelombang terpendek adalah cahaya ungu sedangkan yang memiliki panjang gelombang terpanjang adalah cahaya merah. Fotosintesis berlangsung lebih cepat pada cahaya biru-ungu (panjang gelombang sekitar 450 nm) dan cahaya merah (panjang gelombang sekitar 680 nm).

### 3. Konsentrasi CO<sub>2</sub>

Peningkatan kadar CO<sub>2</sub> terhadap fotosintesis tidak terlalu berpengaruh karena fotosintesis dapat berlangsung selama jumlah CO<sub>2</sub> cukup.

### 4. Suhu

Fotosintesis berlangsung dengan baik pada suhu optimum, yaitu 25°C-39°C. Jika suhu terlalu tinggi maka kerja enzim akan terganggu dalam fotosintesis. Jika suhu terlalu rendah maka laju fotosintesis dapat berhenti.

### 5. Ion Anorganik

Tumbuhan memerlukan ion anorganik dalam pembentukan klorofil, misalnya N, Cl, Fe, B, Mn, Zn, S, Cu, Mg, dan Mo. Jika tumbuhan kekurangan ion maka hal tersebut dapat memicu klorosis pada daun.

### 6. Zat Inhibitor

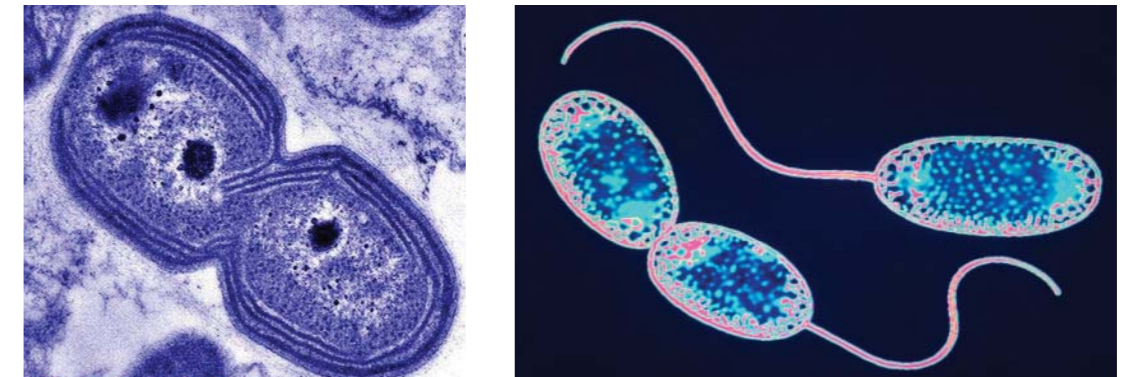
Beberapa zat inhibitor dapat menghambat proses fotosintesis, seperti hujan asam, SO<sub>2</sub>, dan pestisida.

## E. Kemosintesis

Kemosintesis merupakan reaksi penyusunan senyawa sederhana menjadi senyawa kompleks dengan menggunakan senyawa kimia sebagai sumber energi. Proses kemosintesis merupakan reaksi oksidasi. Kemosintesis dilakukan oleh bakteri kemoautotrof. Jenis-jenis bakteri kemoautotrof dapat dilihat pada Tabel 2.4 berikut.

Jenis Bakteri	Reaksi	Contoh Bakteri
Bakteri nitritasi	$2\text{NH}_4^+ + 3\text{O}_2 \longrightarrow 2\text{NO}_2^- + 2\text{H}_2\text{O} + \text{energi}$	<i>Nitrosomonas</i> dan <i>Nitrosococcus</i>
Bakteri nitratasi	$2\text{NO}_2^- + 3\text{O}_2 \longrightarrow 2\text{NO}_4^- + \text{energi}$	<i>Nitrobacter</i> dan <i>Nitrosococcus</i>
Bakteri hidrogen	$2\text{H}_2 + \text{O}_2 \longrightarrow 2\text{H}_2\text{O} + \text{energi}$	<i>Hydrogenobacter</i>
Bakteri metana	$\text{CH}_4 + 2\text{O}_2 \longrightarrow \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + \text{energi}$	<i>Methanobacterium</i>
Bakteri belerang	$2\text{H}_2\text{S} + \text{O}_2 \longrightarrow 2\text{S} + 2\text{H}_2\text{O} + \text{energi}$ $2\text{S} + 2\text{H}_2 + 3\text{O}_2 \longrightarrow 2\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{energi}$	<i>Thiospirillum</i> dan <i>Beggiatoa</i>
Bakteri besi	$\text{Fe}^{2+} \longrightarrow \text{Fe}^{3+}$ $4\text{FeCO}_3 + \text{O}_2 + 6\text{H}_2\text{O} \longrightarrow 4\text{Fe}(\text{OH})_3 + 4\text{CO}_2 + \text{energi}$	<i>Thiobacillus ferrooxidans</i>

Tabel 2.4. Jenis-jenis Bakteri Kemoautotrof



Gambar 15. Contoh Bakteri Kemoautotrof: *Nitrosomonas* (kiri) dan *Nitrobacter* (kanan)  
Sumber: <http://microbewiki.kenyon.edu>, <http://fineartamerica.com>

## Penugasan 2

Membuat ringkasan dan kesimpulan hasil percobaan Ingenhousz dan Sachs mengenai pembuktian fotosintesis melalui kegiatan kajian pustaka.

### Tujuan

Anda diharapkan mampu:

- Mengidentifikasi faktor-faktor yang memengaruhi fotosintesis
- Meningkatkan pemahaman mengenai fotosintesis melalui kegiatan kajian pustaka hasil percobaan pembuktian fotosintesis
- Menumbuhkan semangat literasi baca tulis dan sains

### Media

- Alat tulis
- Kertas/lembar jawaban
- Smartphone/HP
- Buku/sumber belajar lain yang mendukung

### Langkah - langkah

- Lakukan kajian pustaka pada berbagai sumber untuk membantu Anda menyelesaikan tugas
- Cermatilah data pada tabel hasil pengamatan
- Kerjakanlah pertanyaan yang diberikan
- Kumpulkan hasil pekerjaan Anda pada tutor.

### Percobaan Ingenhousz

Tabel hasil pengamatan

No	Perlakuan percobaan	Kondisi	
		Gelembung	Nyala api
1	Terkena cahaya langsung	++	++
2	Tempat teduh	-	-
3	Cahaya langsung + NaHCO <sub>3</sub>	+++	+++
4	Cahaya langsung + es batu	+	+
5	Cahaya langsung + air hangat	++	-

Keterangan:

+++ = gelembung gas banyak/nyala api besar

++ = gelembung gas sedang/nyala api sedang

+ = gelembung gas sedikit/nyala api kecil

- = gelembung gas tidak ada/nyala api tidak ada

### Percobaan Sachs

Tabel hasil pengamatan

No	Pengamatan	Warna daun	
		Terbuka	Tertutup
1	Sebelum direbus	Hijau tua	Hijau muda
2	Setelah direbus	Hijau tua	Hijau muda
3	Setelah ditetesi lugol	Biru kehitaman	Putih

### Pertanyaan

1. Gelembung gas apakah yang dihasilkan pada percobaan Ingenhousz?
2. Mengapa ada perlakuan yang tidak menghasilkan gelembung gas pada percobaan Ingenhousz?



3. Apa peranan  $\text{NaHCO}_3$  pada percobaan Ingenhousz?
4. Faktor-faktor apakah yang memengaruhi fotosintesis pada percobaan Ingenhousz?
5. Manakah daun yang mengandung amilum pada percobaan Sachs?
6. Mengapa terjadi perbedaan warna daun setelah ditetesi lugol?
7. Buatlah kesimpulan kedua hasil percobaan tersebut!

## UNIT 3 Menghasilkan Energi Untuk Proses Kehidupan

### Kata Kunci

- Dekarboksilasi oksidatif
- Glikolisis
- Respirasi aerob
- Fermentasi alkohol
- Mitokondria
- Respirasi anaerob
- Fermentasi asam laktat
- Rantai transpor elektron
- Siklus Krebs

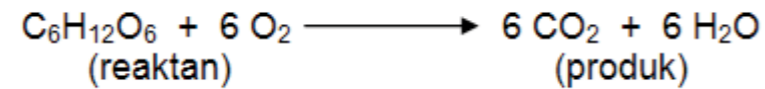
### A. Katabolisme Karbohidrat

Katabolisme merupakan reaksi penguraian senyawa organik kompleks menjadi senyawa-senyawa yang lebih sederhana. Katabolisme menghasilkan sejumlah energi yang berasal dari proses respirasi. Misalnya seseorang yang sedang berlari membutuhkan energi dari hasil respirasi aerob dan respirasi anaerob seperti pada gambar di bawah ini.



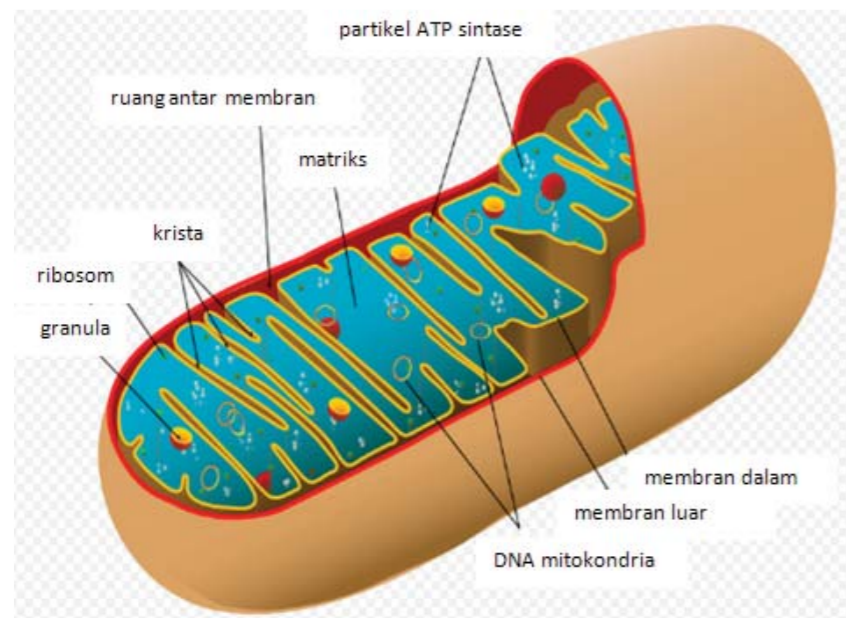
Gambar 16. Berlari Merupakan Aktivitas yang Membutuhkan Energi  
Sumber: <http://blog.aqiqahbunayyamadiun.com>

Reaksi proses respirasi merupakan kebalikan dari reaksi fotosintesis yang dapat dituliskan sebagai berikut.



## B. Mitokondria sebagai Tempat Berlangsungnya Respirasi Aerob

Mitokondria dapat dijumpai pada sel hewan dan sel tumbuhan. Mitokondria merupakan organel sel yang berperan sebagai pabrik penghasil energi melalui proses respirasi seluler.



Gambar 17. Struktur Mitokondria  
Sumber: <http://id.wikipedia.org>

Mitokondria terdiri atas bagian-bagian berikut:

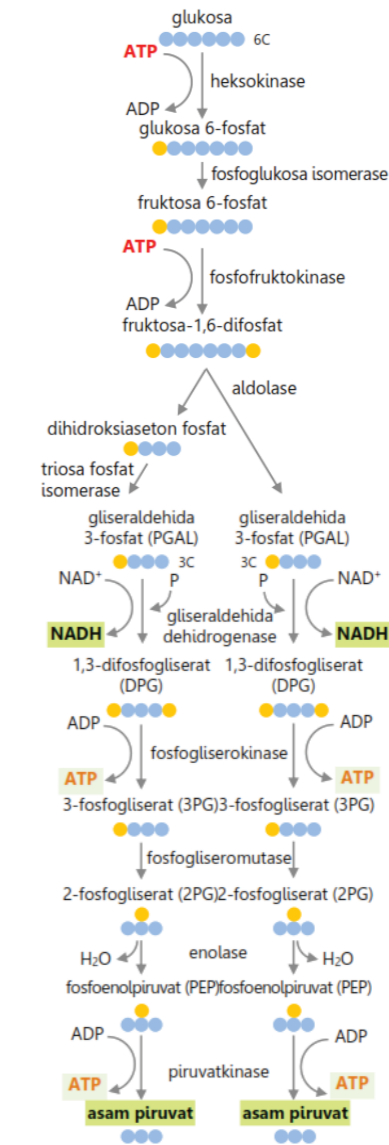
1. Membran mitokondria, berupa membran ganda yang terdiri atas membran luar dan membran dalam yang dipisahkan oleh ruang antar membran.
2. Matriks mitokondria, berupa cairan di dalam mitokondria yang mengandung enzim-enzim, ribosom, DNA mitokondria, dan granula.
3. Krista, pelipatan ke dalam yang menonjol dari membran mitokondria.

## C. Respirasi Aerob

Respirasi aerob merupakan reaksi katabolisme yang membutuhkan oksigen. Respirasi aerob dapat dibagi atas empat tahap, yaitu:

## 1. Glikolisis

Glikolisis merupakan reaksi pemecahan glukosa menjadi dua asam piruvat. Glikolisis terjadi di sitoplasma (luar mitokondria). Glikolisis menghasilkan 2 molekul asam piruvat, 2 molekul NADH, 2 molekul ATP, dan 2 molekul H<sub>2</sub>O. Sebenarnya menghasilkan 4 ATP tetapi 2 ATP digunakan kembali.

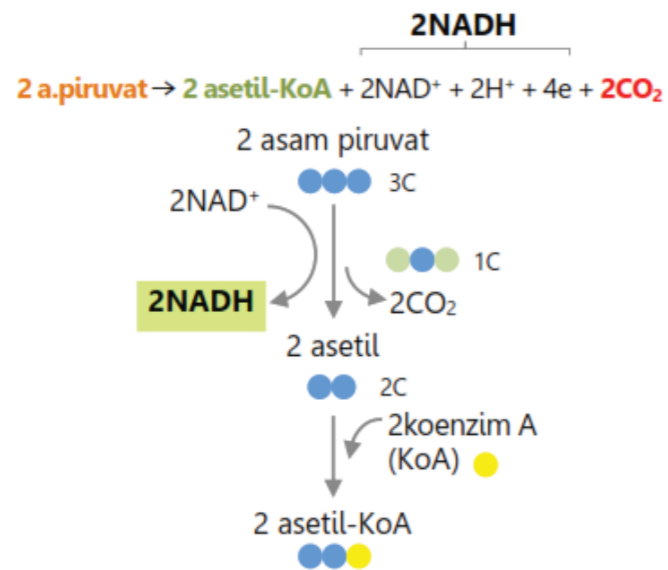


Gambar 18. Reaksi Glikolisis  
Sumber: <http://materi78.wordpress.com>

## 2. Dekarboksilasi Oksidatif (Reaksi Transisi)

Dekarboksilasi oksidatif merupakan reaksi pemutusan gugus karboksil dan oksigen pada asam piruvat. Reaksi ini merupakan reaksi antara sebelum asam piruvat memasuki siklus Krebs yang terjadi di dalam matriks mitokondria. Dekarboksilasi oksidatif menghasilkan 2 molekul asetil-KoA, 2 molekul NADH, dan 2 molekul CO<sub>2</sub>.

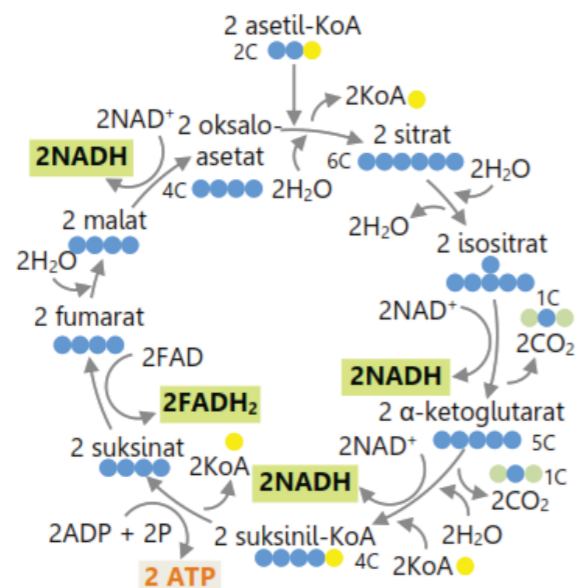




Gambar 19. Reaksi Dekarboksilasi Oksidatif  
Sumber: <http://materi78.wordpress.com>

### 3. Siklus Krebs (Siklus Asam Sitrat)

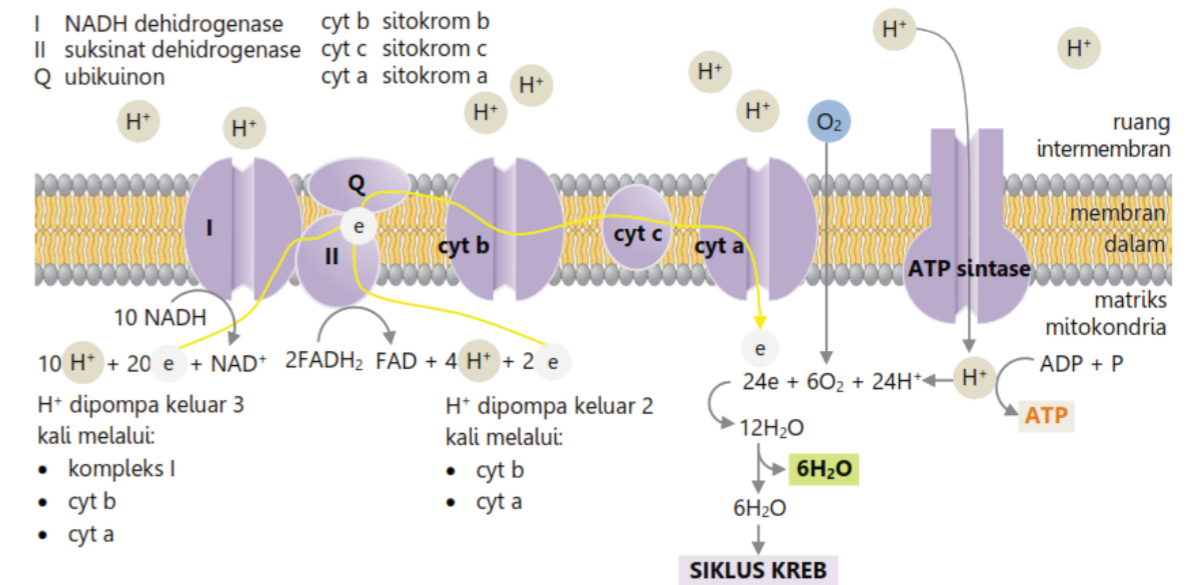
Siklus Krebs merupakan reaksi pembentukan energi yang dimulai antara asetil-KoA dengan asam oksaloasetat membentuk asam sitrat. Siklus Krebs terjadi di matriks mitokondria. Siklus Krebs menghasilkan 6 molekul NADH, 2 molekul FADH<sub>2</sub>, 2 molekul ATP, dan 4 molekul CO<sub>2</sub>.



Gambar 20. Reaksi Siklus Krebs  
Sumber: <http://materi78.wordpress.com>

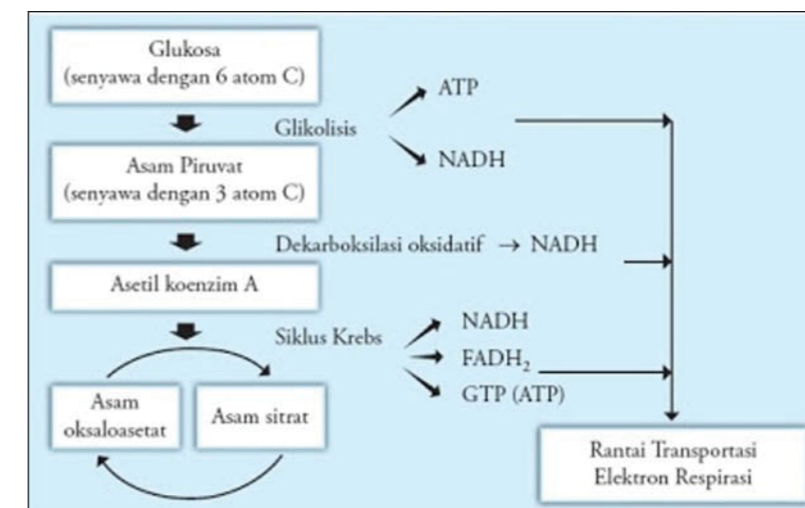
### 4. Rantai Transpor Elektron

Pada tahap akhir ini terjadi reaksi pembebasan energi pada NADH dan FADH<sub>2</sub> melalui rangkaian transpor elektron oleh protein-protein transpor. Rantai transpor elektron terjadi di membran dalam mitokondria dan kista. Rantai transpor elektron menghasilkan 34 ATP dan molekul H<sub>2</sub>O. Satu molekul NADH menghasilkan energi sebesar 3 ATP dan satu molekul FADH<sub>2</sub> menghasilkan 2 ATP.



Gambar 21. Rantai Transpor Elektron  
Sumber: <http://materi78.wordpress.com>

Secara umum, skema tahapan dan hasil reaksi pada respirasi aerob dapat dilihat pada gambar 21 dan Tabel 2.5 berikut ini.



Gambar 22. Tahapan Respirasi Aerob  
Sumber: <http://ebiologi.net>

No	Tahapan reaksi	Jumlah ATP yang dihasilkan	
		Secara langsung	Secara tidak langsung
1	Glikolisis	2 ATP	2 NADH = 2 x 3 = 6 ATP
2	Dekarboksilasi oksidatif	-	2 NADH = 2 x 3 = 6 ATP
3	Siklus Krebs	2 ATP	6 NADH = 6 x 3 = 18 ATP 2 FADH <sub>2</sub> = 2 x 3 = 4 ATP
Jumlah		4 ATP	34 ATP
		Jadi, jumlah total ATP yang dihasilkan adalah 38 ATP	

Tabel 2.5. Hasil Tahapan Reaksi pada Respirasi Aerob

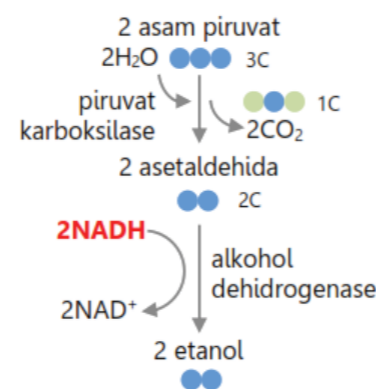
## D. Respirasi Anaerob

Respirasi anaerob disebut juga fermentasi. Respirasi anaerob tidak membutuhkan oksigen sehingga hanya berlangsung di sitoplasma. Peran oksigen digantikan senyawa lain seperti asetaldehida. Respirasi anaerob terdiri atas dua tahap, yaitu glikolisis dan transfer elektron. Respirasi anaerob terdiri atas dua macam, yaitu:

### 1. Fermentasi Alkohol

Fermentasi alkohol dilakukan oleh bakteri anaerob dan ragi. Fermentasi alkohol menggunakan asam piruvat dari hasil glikolisis untuk menghasilkan 2 molekul etanol, 2 molekul ATP, dan 2 molekul CO<sub>2</sub>. Tahap-tahap fermentasi alkohol adalah sebagai berikut.

- Terjadi reaksi glikolisis memecah glukosa menjadi dua asam piruvat.
- Asam piruvat melepas CO<sub>2</sub> menjadi asetaldehida
- Asetaldehida direduksi oleh NADH menghasilkan etanol dan melepaskan NAD<sup>+</sup>.



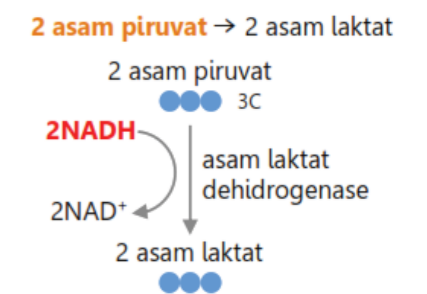
Gambar 23. Fermentasi Alkohol  
Sumber: <http://materi78.wordpress.com>

### 2. Fermentasi Asam Laktat

Fermentasi asam laktat terjadi pada sel hewan dan manusia ketika kekurangan oksigen. Hal ini dapat terjadi jika katabolisme glukosa untuk membentuk ATP melebihi pasokan oksigen. Penimbunan asam laktat pada sel otot menimbulkan rasa lelah dan nyeri. Namun, secara berangsur-angsur asam laktat akan diangkut oleh darah menuju hati untuk diubah menjadi asam piruvat. Fermentasi asam laktat menggunakan asam

piruvat dari hasil glikolisis untuk menghasilkan 2 molekul asam laktat dan 2 molekul ATP. Tahap-tahap fermentasi asam laktat adalah sebagai berikut.

- Terjadi reaksi glikolisis memecah glukosa menjadi dua asam piruvat.
- Asam piruvat langsung direduksi oleh NADH menghasilkan asam laktat dan melepaskan NAD<sup>+</sup>.



Gambar 24. Fermentasi Asam Laktat  
Sumber: <http://materi78.wordpress.com>

### BIOINFO: Jika Tubuh Kelebihan Asam Laktat



Gambar 25. Seseorang Sedang Merasa Lelah

Sumber: <https://www.alodokter.com>

Kelebihan asam laktat disebut asidosis laktat. Asidosis laktat karena olahraga tidaklah berbahaya. Namun, Anda akan merasakan ketidaknyamanan dan nyeri pada otot akibat penumpukan asam laktat. Hal ini akan meningkatkan detak jantung dan membuat seseorang seakan-akan kehabisan napas. Ketika kondisi tubuh terlalu lelah, tubuh akan kesulitan menghilangkan kadar asam laktat pada tubuh. Anda bisa mengurangi nyeri otot dengan melakukan pendinginan setelah berolahraga. Hal tersebut bisa membantu mengurangi kadar asam laktat seiring menurunnya detak jantung Anda. Berbeda jika asidosis laktat disebabkan oleh suatu kondisi kesehatan, misalnya penyakit jantung, ginjal, hati, kanker, dan kerusakan hati. Hal tersebut dapat merusak jaringan tubuh berpotensi terjadi hingga mengancam jiwa.

## E. Katabolisme Lemak dan Protein

Di dalam sel-sel tubuh juga terjadi katabolisme lemak dan protein. Lemak dan protein merupakan sumber energi selain karbohidrat. Hasil-hasil katabolisme lemak dan protein akan masuk ke proses katabolisme karbohidrat.

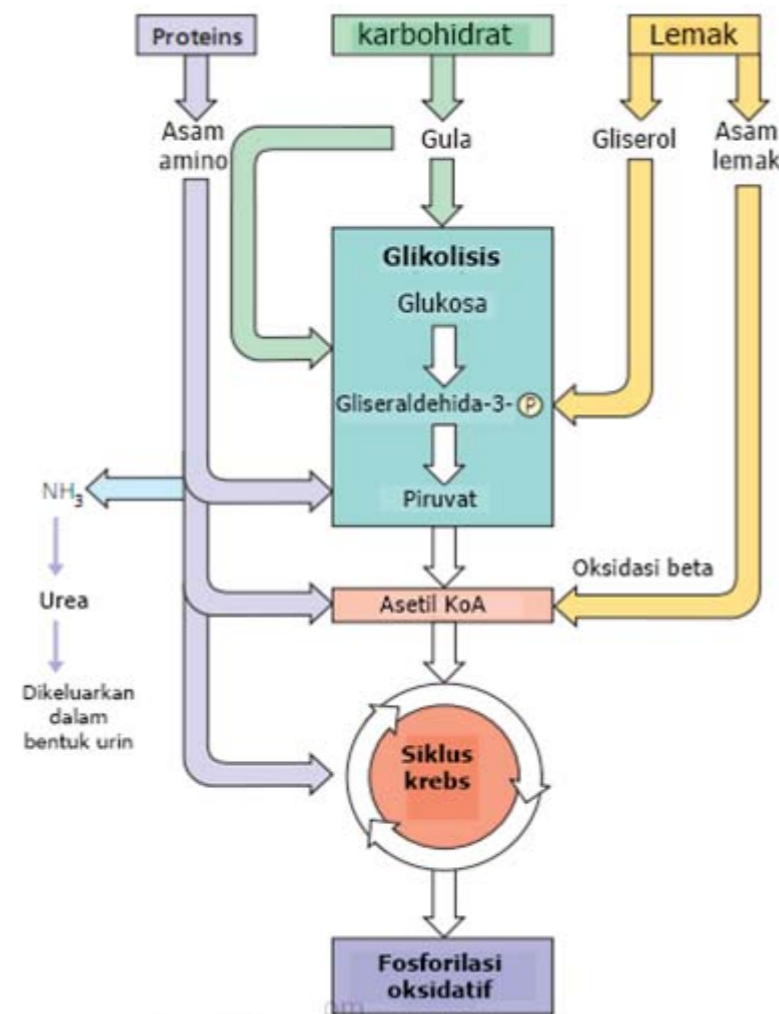


## 1. Katabolisme Lemak

Katabolisme lemak dimulai dengan pemecahan lemak menjadi asam lemak dan gliserol. Gliserol diubah menjadi fosfogliseraldehid (PGAL) kemudian masuk ke dalam reaksi glikolisis untuk diubah menjadi asam piruvat. Asam lemak diubah menjadi molekul asetil-KoA kemudian masuk ke dalam siklus Krebs.

## 2. Katabolisme Protein

Katabolisme protein dimulai dengan pemecahan protein menjadi asam-asam amino. Selanjutnya asam amino mengalami deaminasi dan transaminasi yang menghasilkan asam keto dan gugus amina ( $\text{NH}_3$ ). Asam keto akan memasuki reaksi glikolisis atau siklus Krebs sedangkan gugus amina akan dikeluarkan dalam bentuk urin.



Gambar 26. Skema Hubungan Katabolisme Karbohidrat, Lemak, dan Protein  
Sumber: <http://robi-biologi.blogspot.com>

## Penugasan 3

Membuat tapai singkong

### Tujuan

Anda diharapkan mampu:

- Melakukan percobaan fermentasi alkohol dengan membuat tapai singkong menggunakan *Saccharomyces cerevisiae* (ragi) dan mengomunikasikan hasilnya
- Melatih kemampuan dalam melakukan kerja ilmiah
- Menumbuhkan jiwa kewirausahaan

### Media

- Bahan membuat tapai singkong (singkong, ragi tapai, air, dan daun pisang)
- Alat membuat tapai (pisau, panci, kompor, dandang, dan kompor)
- Alat tulis
- Kertas/lembar jawaban
- Smartphone/HP
- Buku/sumber belajar lain yang mendukung

### Langkah - langkah

- Kupas dan cucilah singkong.
- Kukus singkong dalam dandang hingga setengah matang kemudian tiriskan hingga dingin.
- Siapkan panci dan atur daun pisang pada dasar panci.

- Masukkan singkong yang telah dingin ke panci.
- Taburlah ragi tapai di atas singkong dalam panci.
- Tutuplah singkong dengan daun pisang. Kemudian tutup panci dengan rapat dan simpan pada tempat hangat.
- Diamkan selama tiga hari.
- Setelah tiga hari, amati perubahan yang terjadi pada singkong sebelum dan sesudah didiamkan selama tiga hari.
- Catatlah dan dokumentasikan hasil pengamatan Anda dan jawablah pertanyaan yang telah disediakan.
- Kumpulkan hasil pengamatan dan jawaban Anda kepada tutor.

#### Pertanyaan

1. Bagaimana perbedaan singkong sebelum dan sesudah didiamkan selama tiga hari?
2. Apakah proses yang terjadi pada singkong ketika didiamkan selama tiga hari?
3. Apa tujuan panci berisi singkong ditutup rapat selama tiga hari?
4. Bagaimana rasa tapai singkong yang Anda buat? Kaitkanlah jawaban Anda dengan reaksi fermentasi.

## Rangkuman

1. Metabolisme adalah rangkaian reaksi perubahan bentuk energi atau senyawa-senyawa kimia. Dibedakan atas anabolisme dan katabolisme.
2. Enzim merupakan molekul protein yang berperan sebagai biokatalisator.
3. Enzim terdiri atas dua komponen, yaitu apoenzim (berupa protein) dan kofaktor (bagian non-protein).
4. Cara kerja enzim dibedakan atas teori kunci dan gembok serta teori kecocokan induksi.
5. Faktor-faktor yang memengaruhi kerja enzim antara lain suhu, pH, konsentrasi, dan inhibitor.
6. Anabolisme merupakan reaksi penyusunan senyawa-senyawa sederhana menjadi senyawa organik yang lebih kompleks.
7. Anabolisme dibedakan atas fotosintesis dan kemosintesis. Fotosintesis membutuhkan energi cahaya matahari sedangkan kemosintesis membutuhkan energi dari senyawa kimia.
8. Fotosistem merupakan suatu sistem pada tilakoid yang terdiri atas unit-unit yang mampu menangkap cahaya matahari. Terdiri atas fotosistem I (P700) dan fotosistem II (P680).
9. Reaksi terang berlangsung di grana dengan membutuhkan cahaya matahari dan H<sub>2</sub>O untuk menghasilkan ATP, NADPH, dan O<sub>2</sub>.
10. Reaksi gelap berlangsung di stroma dengan membutuhkan CO<sub>2</sub>, ATP, dan NADPH untuk menghasilkan glukosa.
11. Katabolisme merupakan reaksi penguraian senyawa organik kompleks menjadi senyawa-senyawa yang lebih sederhana.
12. Katabolisme karbohidrat dibedakan atas respirasi aerob (butuh oksigen) dan respirasi anaerob (tidak membutuhkan oksigen).
13. Respirasi aerob terdiri atas empat tahap, yaitu glikolisis, dekarboksilasi oksidatif, siklus Krebs, dan rantai transpor elektron.
14. Respirasi anaerob dibedakan atas fermentasi alkohol dan fermentasi asam laktat.





Pernyataan yang berhubungan dengan reaksi gelap adalah . . . .

- A. 1, 2, dan 3
- B. 1, 2, dan 4
- C. 2, 3, dan 4
- D. 3, 4, dan 5
- E. 4, 5, dan 6

7. Reaksi terang menghasilkan molekul yang akan digunakan pada reaksi gelap, yaitu . . . .

- A. glukosa
- B. ATP dan oksigen
- C. CO<sub>2</sub> dan NADPH
- D. oksigen dan RuBP
- E. ATP dan NADPH

8. Perhatikan tahap-tahap pada siklus Calvin berikut!

- 1). pembentukan PGAL
- 2). pembentukan BPG
- 3). pembentukan PGA
- 4). pengikatan CO<sub>2</sub>
- 5) pembentukan RuBP

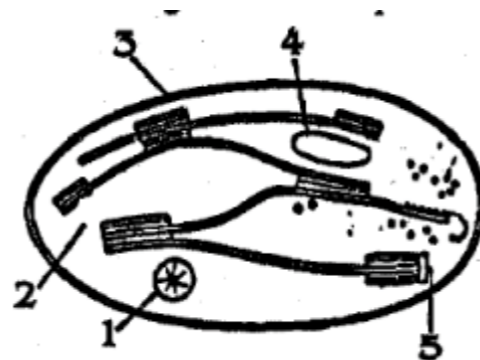
Urutan proses yang terjadi pada siklus Calvin adalah . . . .

- A. 1 – 5 – 3 – 1 – 2
- B. 2 – 3 – 1 – 4 – 5
- C. 4 – 3 – 1 – 2 – 5
- D. 4 – 3 – 2 – 1 – 5
- E. 5 – 4 – 3 – 2 – 1

9. Perhatikan gambar struktur kloroplas berikut!

Terbentuknya glukosa berlangsung pada bagian yang bernomor . . . .

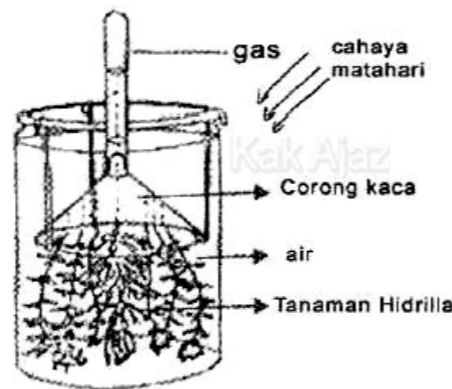
- A. 1
- B. 2
- C. 3
- D. 4
- E. 5



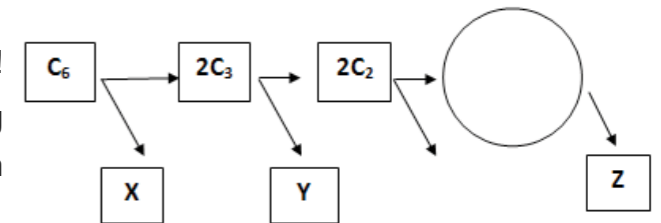
10. Perhatikan gambar percobaan Ingenhousz berikut.

Hasil akhir dari percobaan tersebut pada ujung corong terdapat gelembung-gelembung udara karena . . . . (Soal UN Biologi 2017)

- A. adanya gas hasil respirasi tanaman hidrilla
- B. terbentuk gas hidrogen akibat pemecahan H<sub>2</sub>O
- C. timbulnya uap air akibat paparan cahaya matahari
- D. terbentuk O<sub>2</sub> dari proses fotosintesis yang dilakukan hidrilla
- E. terjadi pembentukan CO<sub>2</sub> yang dilakukan oleh tanaman hidrilla



11. Perhatikan bagan respirasi aerob berikut!



Proses yang terjadi dan senyawa yang dihasilkan pada bagian yang ditunjukkan oleh huruf adalah . . . .

- A. X = Glikolisis, menghasilkan 2 NADH<sub>2</sub> + 2 ATP
- B. X = Glikolisis, menghasilkan 2 asam piruvat + 3 NADH<sub>2</sub> + 2 ATP
- C. Y = Dekarboksilasi oksidatif, menghasilkan 2 asetil-KoA + 2 NADH<sub>2</sub>
- D. Z = Siklus Krebs, menghasilkan 3 NADH<sub>2</sub> + 2 FADH<sub>2</sub> + 2 ATP
- E. Z = Siklus Krebs, menghasilkan 6 NADH<sub>2</sub> + 4 FADH<sub>2</sub> + 2 ATP

12. Sebelum memasuki siklus Krebs, asam piruvat akan mengalami . . . .

- A. pelepasan molekul oksigen
- B. pengubahan menjadi asetil-KoA
- C. pengikatan dengan oksaloasetat
- D. pembentukan menjadi asam sitrat
- E. pengubahan menjadi ATP dan NADH

13. Siklus Krebs pada respirasi aerob menghasilkan . . . .

- A. 6 NADH, 2 FADH<sub>2</sub>, dan 2 H<sub>2</sub>O
- B. 2 asetil-KoA, 2 NADH, dan 2 ATP
- C. 2 asam piruvat, 2 NADH, dan 2 CO<sub>2</sub>
- D. 6 NADH, 2 FADH<sub>2</sub>, 2 ATP, dan 4 CO<sub>2</sub>
- E. 3 NADH, 2 FADH<sub>2</sub>, 2 ATP, dan 2 H<sub>2</sub>O

14. Jumlah ATP yang dihasilkan pada rangkaian pembebasan energi melalui rantai transpor elektron adalah . . . .

- A. 3
- B. 8
- C. 18
- D. 34
- E. 36

15. Berikut ini proses-proses pada metabolisme:

- 1) pembentukan 6 NADH dan 2 FADH<sub>2</sub>
- 2) pembebasan energi
- 3) pemecahan glukosa menjadi asam piruvat
- 4) pelepasan CO<sub>2</sub>
- 5) pembentukan asetil-KoA

Proses yang tidak terjadi pada matriks mitokondria selama respirasi aerob adalah . . . .

- A. 1 dan 2
- B. 1 dan 4
- C. 2 dan 3
- D. 3 dan 4
- E. 3 dan 5



16. Respirasi anaerob menghasilkan lebih sedikit energi dibandingkan dengan respirasi aerob. Hal ini disebabkan karena respirasi anaerob . . . .

- A. berlangsung di sitoplasma
- B. tidak membentuk NADH
- C. berlangsung lebih lambat
- D. menghasilkan senyawa racun
- E. tanpa menggunakan oksigen

17. Perhatikan pernyataan berikut!

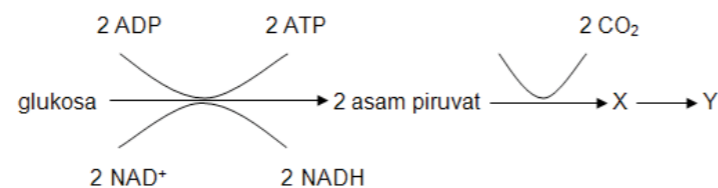
- 1) membutuhkan oksigen
- 2) menghasilkan 2 ATP
- 3) menghasilkan CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O
- 4) terjadi pembentukan asam laktat
- 5) tidak mengalami glikolisis

Proses yang terjadi pada respirasi anaerob adalah . . . .

- A. 1 dan 2
- B. 2 dan 3
- C. 2 dan 4
- D. 3 dan 5
- E. 4 dan 5

18. Perhatikan skema respirasi anaerob berikut!

Secara berurutan huruf X dan Y adalah . . . .



- A. 2 asetil-KoA dan 2 ATP
- B. 2 asetaldehida dan 2 etanol
- C. 1 etanol dan 1 asetaldehida
- D. 1 asetaldehida dan 1 etanol
- E. 2 fosfoenol piruvat dan 2 asam laktat

19. Ketika sel-sel otot melakukan proses pemecahan glukosa dalam keadaan kekurangan oksigen, zat berikut yang tidak akan dihasilkan dari proses tersebut adalah . . . .

- A. ATP
- B. panas
- C. asetil-KoA
- D. asam laktat
- E. asam piruvat

20. Berikut ini pernyataan hubungan antara metabolisme karbohidrat, lemak, dan protein:

- 1) glukosa dapat disimpan dalam bentuk oksigen
- 2) gliserol memasuki jalur metabolisme karbohidrat di antara glukosa dan piruvat
- 3) asam amino juga dapat menghasilkan energi dalam bentuk ATP
- 4) gliserol dapat berubah menjadi glukosa atau piruvat

Pernyataan yang tepat mengenai hubungan antara metabolisme karbohidrat dan lemak adalah . . . . (Soal UN Biologi 2016)

- A. 1 dan 2
- B. 1 dan 3
- C. 2 dan 3
- D. 2 dan 4
- E. 3 dan 4

**B. Soal Uraian**

**Jawablah pertanyaan berikut dengan tepat!**

- 1. Di lambung dihasilkan enzim pepsin yang berperan dalam mengubah protein menjadi pepton. Ketika makanan yang mengandung karbohidrat memasuki lambung, enzim pepsin tidak mencernanya secara kimiawi. Mengapa hal demikian terjadi? Jelaskan!
- 2. Jelaskan pengaruh suhu dan pH terhadap kerja enzim!
- 3. Jelaskan hal-hal yang dapat terjadi jika terjadi kerusakan pada bagian grana kloroplas!
- 4. Jelaskan perbedaan fotosintesis dan kemosintesis!
- 5. Respirasi aerob menghasilkan total 38 ATP, yaitu 4 ATP dihasilkan secara langsung dan 34 ATP dihasilkan secara tidak langsung. Jelaskan asal-usul dari 34 ATP yang dihasilkan secara tidak langsung!
- 6. Jelaskan persamaan dan perbedaan antara respirasi aerob dengan respirasi anaerob dan berikan masing-masing contohnya!

## Kriteria Ketuntasan Modul

- Anda dinyatakan tuntas dan dapat mengikuti modul berikutnya dengan ketentuan telah menyelesaikan tugas-tugas dan latihan soal dalam modul dan nilai hasil belajar mencapai ketuntasan minimal 70. Anda minta tutor untuk menguji pemahaman Anda terhadap modul ini sebelum Anda melanjutkan ke modul berikutnya.
- Jika penguasaan materi belum mencapai nilai ketuntasan 70 jangan berkecil hati dan tetap semangat. Ulangi dengan membaca kembali uraian materi dalam modul, kemudian coba lagi untuk mengerjakan soal latihan khususnya pada soal yang Anda rasakan sulit untuk menjawabnya. Anda juga dapat meminta bantuan Tutor untuk membantu Anda.

## Kunci Jawaban Dan Pembahasan

### A. Penugasan 1.1

1. Fungsi enzim katalase pada hati berperan dalam memecah hidrogen peroksida menjadi air dan oksigen. Fungsi lainnya antara lain membantu melawan efek radikal bebas di dalam tubuh, digunakan dalam industri pembuatan makanan dan minuman terutama dalam pengawetan, mencegah kerusakan sel pada penyakit tertentu, memecah alkohol dalam tubuh, dan mencegah inflamasi.
2. Faktor-faktor yang memengaruhi kerja enzim katalase pada percobaan tersebut adalah derajat keasaman (pH) dan suhu.
3. Pembahasan hasil percobaan:
  - a. Ekstrak hati ditambah H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>  
Dalam hal ini kondisinya netral. Gelembung yang dihasilkan banyak dan ketika bara api dimasukkan menimbulkan nyala api yang terang menandakan terdapat banyak oksigen di dalam tabung reaksi. Hal ini berarti H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> terurai dengan sempurna menjadi H<sub>2</sub>O (air) dan O<sub>2</sub> (oksigen) pada kondisi netral.
  - b. Ekstrak hati ditambah HCl dan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>  
Dalam hal ini kondisinya asam oleh tambahan HCl. Tidak ada gelembung yang dihasilkan dan ketika bara api dimasukkan tidak menimbulkan nyala api. Hal ini menunjukkan enzim katalase tidak dapat bekerja dalam kondisi asam.
  - c. Ekstrak hati ditambah NaOH dan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>  
Dalam hal ini kondisinya basa oleh tambahan NaOH. Gelembung yang dihasilkan sedikit dan ketika bara api dimasukkan tidak menimbulkan nyala api. Hal ini menunjukkan enzim katalase tidak dapat bekerja dalam kondisi basa.
  - d. Ekstrak hati dididihkan lalu ditambah H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>  
Dalam hal ini kondisinya pada suhu tinggi. Gelembung yang dihasilkan sedikit dan ketika bara api dimasukkan tidak menimbulkan nyala api. Hal ini menunjukkan enzim katalase rusak pada suhu tinggi sehingga tidak menimbulkan reaksi.
  - e. Ekstrak hati dimasukkan ke dalam es lalu ditambah H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>  
Dalam hal ini kondisinya pada suhu rendah. Gelembung yang dihasilkan sedikit ketika bara api dimasukkan menimbulkan sedikit nyala api. Hal ini menunjukkan enzim katalase tidak aktif sementara pada suhu rendah sehingga bekerja kurang optimal.
4. Kesimpulan hasil percobaan tersebut adalah enzim katalase bekerja optimal pada kondisi netral dan tidak dapat bekerja pada kondisi asam dan basa. Enzim katalase mengalami kerusakan pada suhu tinggi dan kurang aktif pada suhu rendah.



## B. Penugasan 2.1

1. Gelembung gas yang dihasilkan pada percobaan Ingenhousz adalah oksigen sebagai salah satu hasil fotosintesis.
2. Terdapat perlakuan yang tidak menghasilkan gelembung gas, yaitu perlakuan di tempat teduh karena tumbuhan yang menjadi sampel tidak mengalami fotosintesis tanpa adanya cahaya matahari.
3. Peranan  $\text{NaHCO}_3$  adalah katalis fotosintesis dengan menambah kadar  $\text{CO}_2$  di dalam air.
4. Faktor-faktor yang memengaruhi fotosintesis pada percobaan Ingenhousz adalah keberadaan atau intensitas cahaya matahari, suhu, dan  $\text{NaHCO}_3$  (kadar  $\text{CO}_2$ ).
5. Daun yang mengandung amilum pada percobaan Sachs adalah bagian daun terbuka yang berwarna biru kehitaman.
6. Adanya perbedaan warna daun setelah ditetesi lugol. Bagian daun yang tidak tertutup aluminium foil terkena cahaya matahari sehingga berlangsung fotosintesis dan terjadi perubahan warna menjadi biru kehitaman yang menandakan keberadaan amilum. Bagian daun yang tertutup aluminium foil tidak terkena cahaya matahari sehingga tidak berlangsung fotosintesis dan warnanya tampak pucat atau putih yang menandakan tidak mengandung amilum.
7. Kesimpulan percobaan Ingenhousz adalah fotosintesis dipengaruhi oleh faktor intensitas cahaya matahari, suhu, dan kadar  $\text{CO}_2$  serta menghasilkan oksigen. Kesimpulan percobaan Sachs adalah fotosintesis memerlukan cahaya dan menghasilkan amilum.

## C. Penugasan Unit 3.1

1. Sebelum singkong didiamkan (difermentasikan) selama 3 hari, bentuknya belum ada perubahan dan teksturnya masih keras. Setelah didiamkan selama 3 hari, keadaan atau tekstur pada singkong berubah menjadi lunak dan empuk.
2. Proses yang terjadi selama singkong didiamkan 3 hari adalah terjadi fermentasi oleh *Saccharomyces cerevisiae* yang mengubah karbohidrat (fruktosa dan glukosa) menjadi alkohol dan karbondioksida.
3. Tujuan panci ditutup rapat selama 3 hari agar terjadi proses fermentasi yang sempurna dan lebih cepat karena fermentasi dapat berlangsung tanpa membutuhkan oksigen.
4. Lamanya proses fermentasi akan memengaruhi kadar alkohol yang dihasilkan dan rasa manis yang dihasilkan pada tapai disebabkan oleh hidrolisis pati menjadi glukosa. Semakin banyak glukosa yang dihasilkan akan semakin manis rasanya. Untuk memperoleh tapai dengan rasa manis maka perlu mengonsumsinya setelah 2-3 hari.

## D. Latihan Soal Pilihan Ganda

1. B  
Pembahasan: Gambar menunjukkan kerja enzim seperti kunci dan gembok, artinya enzim bekerja secara spesifik atau hanya bisa bereaksi terhadap satu jenis substrat.

2. D  
Pembahasan: Grafik menunjukkan aktivitas enzim pepsin pada pH 1-4 (asam) dan aktivitas enzim tripsin pada pH 6-10 (basa). Pepsin bekerja pada pH optimum 2,5 sedangkan tripsin bekerja pada pH optimum 8. Pepsin disekresikan di lambung sedangkan tripsin disekresikan di usus oleh pankreas.
3. A  
Pembahasan: Data pada tabel menunjukkan pada perlakuan netral, penambahan jeruk nipis, dan penambahan air kapur berhubungan dengan pH sedangkan perlakuan penambahan es batu dan air panas berhubungan dengan suhu. Pengaruh setiap perlakuan terlihat pada data tabel yang menunjukkan adanya jumlah gelembung udara dan nyala api.
4. C  
Pembahasan: Asam sitrat merupakan inhibitor nonkompetitif dan ciri khas inhibitor kompetitif adalah berikatan pada sisi alosterik enzim kemudian mengubah bentuk sisi aktif enzim agar tidak cocok dengan substratnya.
5. C  
Pembahasan: Anabolisme merupakan reaksi penyusunan senyawa-senyawa sederhana menjadi senyawa kompleks. Anabolisme membutuhkan energi dan melepaskan oksigen. Contohnya pada fotosintesis. Pernyataan nomor 1 dan 4 merupakan ciri-ciri katabolisme.
6. E  
Pembahasan: Reaksi gelap menggunakan ATP, terjadi pengikatan  $\text{CO}_2$  oleh RuBP, dan menghasilkan glukosa (baca kembali halaman 12 tentang reaksi gelap). Pernyataan nomor 1, 2, dan 3 merupakan ciri-ciri reaksi terang.
7. E  
Pembahasan: Reaksi terang menghasilkan energi berupa ATP dan NADPH untuk digunakan pada reaksi gelap sedangkan oksigen akan dilepas ke lingkungan.
8. D  
Pembahasan: Urutan proses siklus Calvin (reaksi gelap) adalah pengikatan  $\text{CO}_2$  membentuk PGA, selanjutnya PGA menjadi BPG lalu diubah menjadi PGAL. PGAL digunakan untuk pembentukan glukosa dan sisa PGAL akan digunakan kembali untuk meregenerasi RuBP.
9. B  
Pembahasan: Pembentukan glukosa terjadi pada reaksi gelap yang berlangsung di stroma. Nomor 1 adalah DNA, nomor 2 adalah stroma, nomor 3 adalah membran kloroplas, nomor 4 adalah granula penyimpan amilum, dan nomor 5 adalah grana/tilakoid
10. D  
Pembahasan: Adanya gelembung udara menunjukkan keberadaan oksigen yang dihasilkan oleh hidrilla sebagai hasil fotosintesis.

11. A

Pembahasan: Huruf X adalah glikolisis, huruf Y adalah dekarboksilasi oksidatif, dan huruf Z adalah siklus Krebs. C6 menunjukkan glukosa ( $C_6H_{12}O_6$ ), 2C3 menunjukkan 2 molekul asam piruvat ( $C_3H_4O_3$ ), dan 2C2 menunjukkan 2 molekul asetil-KoA ( $C_2H_3OS-CoA$ ). Glikolisis menghasilkan 2 NADH dan 2 ATP.

12. B

Pembahasan: Sebelum memasuki siklus Krebs, asam piruvat yang dihasilkan pada glikolisis akan mengalami dekarboksilasi oksidatif dan diubah menjadi asetil-KoA.

13. D

Pembahasan: Siklus Krebs menghasilkan 6 molekul NADH, 2 molekul FADH<sub>2</sub>, 2 molekul ATP, dan 2 molekul 4 CO<sub>2</sub>.

14. D

Pembahasan: Total ATP yang dihasilkan pada respirasi aerob adalah 38 ATP, yaitu 34 ATP secara tidak langsung melalui rantai transpor elektron dan 4 ATP secara langsung pada glikolisis dan siklus Krebs.

15. C

Pembahasan: Pada matriks mitokondria terjadi dekarboksilasi oksidatif dan siklus Krebs. Pembentukan NADH dan FADH<sub>2</sub> terjadi di kloroplas, pembebasan energi terjadi di membran mitokondria, pemecahan glukosa menjadi asam piruvat terjadi di sitoplasma, pelepasan CO<sub>2</sub> dan pembentukan asetil-KoA terjadi di matriks mitokondria.

16. E

Pembahasan: Respirasi anaerob tidak memerlukan oksigen sehingga hanya menghasilkan sedikit energi, yaitu 2 ATP dibandingkan respirasi aerob yang menghasilkan 38 ATP.

17. C

Pembahasan: Respirasi anaerob atau fermentasi dibedakan atas fermentasi alkohol dan fermentasi asam laktat. Kedua jenis fermentasi tersebut mengalami glikolisis dan menghasilkan 2 ATP. Respirasi aerob membutuhkan oksigen dan pada prosesnya akan menghasilkan ATP, CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O.

18. B

Pembahasan: Skema respirasi anaerob tersebut adalah fermentasi alkohol yang ditandai dengan adanya CO<sub>2</sub>. Asam piruvat akan diubah menjadi asetaldehida (huruf X) dan selanjutnya menjadi etanol (huruf Y).

19. C

Pembahasan: Saat sel-sel otot melakukan proses pemecahan glukosa dalam keadaan anaerob, maka terjadi fermentasi asam laktat yang akan memecah glukosa menjadi asam piruvat dan menghasilkan 2 ATP. Selanjutnya asam piruvat diubah menjadi asam laktat dan akan menghasilkan panas. Asetil-KoA dihasilkan pada respirasi aerob.

20. D

Pembahasan: Glukosa tidak dapat disimpan dalam bentuk oksigen tetapi dalam bentuk glikogen. Hubungan katabolisme karbohidrat dan lemak ditunjukkan oleh pernyataan nomor 2 dan 4 (baca halaman 23-24 lalu cermatilah skema hubungan katabolisme karbohidrat, lemak, dan protein).

#### E. Latihan Soal Uraian

1. Pembahasan: Enzim bekerja secara spesifik, yaitu hanya bisa bereaksi terhadap satu jenis substrat saja. Jadi, enzim pepsin yang mencerna protein tidak dapat mencerna senyawa lain seperti karbohidrat.
2. Pembahasan: Pengaruh suhu terhadap kerja enzim adalah jika berada pada suhu tinggi di atas suhu optimum maka enzim akan mengalami denaturasi sedangkan jika berada pada suhu rendah mencapai titik beku maka enzim akan mengalami inaktivasi (tidak aktif) untuk sementara. Pengaruh pH terhadap kerja enzim tergantung pada jenis enzim tersebut karena ada enzim yang bekerja optimum pada kondisi netral, asam, atau basa. Enzim yang tidak sesuai pada kondisi pHnya akan bekerja kurang maksimal.
3. Pembahasan: Grana merupakan bagian kloroplas yang berperan sebagai tempat berlangsungnya reaksi terang. Jika grana mengalami kerusakan maka yang terjadi adalah terganggunya reaksi terang dari fotosintesis, diantaranya tidak terjadi fotolisis yang menghasilkan oksigen dan tidak terjadi pembentukan ATP dan NADPH, Tanpa ATP dan NADPH, reaksi gelap tidak dapat berlangsung sepenuhnya.
4. Pembahasan: Sebanyak 34 ATP yang dihasilkan berasal dari pembebasan energi 2 NADH dari glikolisis, 2 NADH dari dekarboksilasi oksidatif, 6 NADH dan 2 FADH<sub>2</sub> dari siklus Krebs pada rantai transport elektron (1 NADH menghasilkan 3 ATP dan 1 FADH<sub>2</sub> menghasilkan 2 ATP). Jika ditotal maka jumlahnya 34 ATP.
5. Pembahasan: Fotosintesis adalah proses penyusunan senyawa berupa air dan karbondioksida menjadi senyawa kompleks (misalnya glukosa) dengan bantuan cahaya matahari sedangkan kemosintesis adalah reaksi penyusunan senyawa sederhana menjadi senyawa kompleks dengan menggunakan senyawa kimia sebagai sumber energi. Fotosintesis dilakukan oleh organisme fotoautotrof seperti tumbuhan dan alga sedangkan kemosintesis dilakukan oleh bakteri.
6. Pembahasan: Persamaan antara respirasi aerob dengan respirasi anaerob adalah keduanya sama-sama mengalami glikolisis. Perbedaan keduanya adalah respirasi aerob membutuhkan oksigen sehingga mengalami siklus Krebs dan menghasilkan 38 ATP sedangkan respirasi anaerob tidak membutuhkan oksigen sehingga tidak mengalami siklus Krebs dan hanya menghasilkan 2 ATP. Contoh respirasi aerob adalah proses pembentukan energi pada tubuh sedangkan contoh respirasi anaerob adalah fermentasi alkohol.

## Rubrik Penilaian

### A. Rubrik Penugasan

#### 1. Penugasan Unit 12.1

No	Kriteria	Skor dan Deskripsi
1	Jawaban atas pertanyaan	<ol style="list-style-type: none"> <li>Ada lebih dari satu jawaban yang belum tepat</li> <li>Ada satu jawaban yang belum tepat</li> <li>Menjawab seluruh pertanyaan dengan baik dan tepat</li> </ol>
2	Pembahasan yang dibuat	<ol style="list-style-type: none"> <li>Pembahasan kurang sesuai dengan data hasil pengamatan</li> <li>Ada beberapa hal pada pembahasan yang dibuat kurang sudah sesuai dengan data hasil pengamatan</li> <li>Pembahasan yang dibuat sudah sesuai dengan data hasil pengamatan</li> </ol>
3	Kesimpulan yang dibuat	<ol style="list-style-type: none"> <li>Kesimpulan kurang sesuai dengan hasil pengamatan</li> <li>Ada beberapa hal pada kesimpulan yang kurang sesuai dengan data hasil pengamatan</li> <li>Kesimpulan yang dibuat sudah sesuai dengan data hasil pengamatan</li> </ol>

#### Kriteria Penilaian

Total Skor	Nilai	Total Skor	Nilai
9	100	5	80
8	95	4	75
7	90	3	70
6	85		

#### 2. Penugasan Unit 12.2

No	Kriteria	Skor dan Deskripsi
1	Jawaban atas pertanyaan	<ol style="list-style-type: none"> <li>Ada lebih dari satu jawaban yang belum tepat</li> <li>Ada satu jawaban yang belum tepat</li> <li>Menjawab seluruh pertanyaan dengan baik dan tepat</li> </ol>
2	Pembahasan yang dibuat	<ol style="list-style-type: none"> <li>Pembahasan kurang sesuai dengan data hasil pengamatan dari dua percobaan</li> <li>Ada beberapa hal pada pembahasan yang dibuat kurang sudah sesuai dengan data hasil pengamatan dari dua percobaan</li> <li>Pembahasan yang dibuat sudah sesuai dengan data hasil pengamatan dari dua percobaan</li> </ol>

3	Kesimpulan yang dibuat	<ol style="list-style-type: none"> <li>Kesimpulan kurang sesuai dengan hasil pengamatan dari dua percobaan</li> <li>Ada beberapa hal pada kesimpulan yang kurang sesuai dengan data hasil pengamatan dari dua percobaan</li> <li>Kesimpulan yang dibuat sudah sesuai dengan data hasil pengamatan dari dua percobaan</li> </ol>
---	------------------------	---

#### Kriteria Penilaian

Total Skor	Nilai	Total Skor	Nilai
9	100	5	80
8	95	4	75
7	90	3	70
6	85		

#### 3. Penugasan Unit 12.3

No	Kriteria	Skor dan Deskripsi
1	Jawaban atas pertanyaan	<ol style="list-style-type: none"> <li>Ada lebih dari satu jawaban yang belum tepat</li> <li>Ada satu jawaban yang belum tepat</li> <li>Menjawab seluruh pertanyaan dengan baik dan tepat</li> </ol>
2	Hasil fermentasi tapai	<ol style="list-style-type: none"> <li>Fermentasi gagal</li> <li>Hasil fermentasi tapai kurang baik</li> <li>Hasil fermentasi tapai sangat baik</li> </ol>
3	Data hasil pengamatan	<ol style="list-style-type: none"> <li>Data hasil pengamatan kurang sesuai dan tidak dilengkapi dokumentasi</li> <li>Data hasil pengamatan kurang sesuai dan dilengkapi/tidak dilengkapi dokumentasi</li> <li>Data hasil pengamatan sudah sesuai dan dilengkapi dokumentasi</li> </ol>

#### Kriteria Penilaian

Total Skor	Nilai	Total Skor	Nilai
9	100	5	80
8	95	4	75
7	90	3	70
6	85		



4. Nilai Akhir Penugasan

Nilai akhir penugasan dapat Anda peroleh dengan menggunakan rumus berikut:

$$\frac{\text{Nilai Penugasan Unit 12.1} + \text{Nilai Penugasan Unit 12.2} + \text{Nilai Penugasan 1 Unit 12.3}}{3}$$

**B. Rubrik Penilaian Latihan Soal**

1. Pilihan Ganda

Setiap soal dengan jawaban yang benar mendapatkan skor 5. Total skor untuk 20 soal dengan jawaban benar adalah 100. Total skor yang diperoleh merupakan nilai untuk latihan soal pilihan ganda.

2. Soal Uraian

Total skor untuk 6 soal uraian dengan jawaban benar adalah 100. Total skor yang diperoleh merupakan nilai untuk latihan soal uraian.

No	Skor	Deskripsi
1	15	Jika pada jawaban menjelaskan bahwa enzim bekerja secara spesifik, maka Anda memperoleh skor 10. Jika menjelaskan lebih lanjut bahwa enzim bekerja terhadap satu jenis substrat atau menjelaskan kerja enzim seperti kunci dan gembok, maka Anda memperoleh skor 5.
2	20	Jika pada jawaban menjelaskan bahwa pengaruh suhu tinggi menyebabkan enzim mengalami denaturasi dan suhu rendah menyebabkan inaktif/tidak aktif maka Anda memperoleh skor 10 (masing-masing skor 5 untuk suhu tinggi dan suhu rendah) Jika pada jawaban menjelaskan bahwa pengaruh pH tergantung pada jenis enzim karena ada enzim bekerja optimum pada pH tertentu, maka Anda memperoleh skor 10.
3	20	Jika pada jawaban menjelaskan kerusakan grana menyebabkan terganggunya reaksi terang, maka Anda memperoleh skor 10. Jika Anda menjelaskan tahapan reaksi terang yang terganggu seperti fotolisis serta pembentukan ATP dan NADPH, maka Anda memperoleh skor 5. Jika Anda menjelaskan bahwa reaksi gelap tidak dapat berlangsung, maka Anda memperoleh skor 5.

4	20	Jika pada jawaban menjelaskan bahwa 34 ATP yang dihasilkan berasal dari pembebasan energi NADH dan FADH <sub>2</sub> , maka Anda memperoleh skor 10. Jika pada jawaban menuliskan rincian jumlah NADH dan FADH <sub>2</sub> serta jumlah ATP yang dihasilkannya maka: 2 NADH (6 ATP) dari glikolisis = skor 3 2 NADH (6 ATP) dari dekarboksilasi oksidatif = skor 3 6 NADH (18 ATP) dan 2 FADH <sub>2</sub> (4 ATP) dari siklus Krebs = skor 4
5	15	Jika pada jawaban menjelaskan perbedaan fotosintesis dan kemosintesis dengan tepat, maka Anda memperoleh skor 10. Jika dapat memberikan masing-masing contoh yang tepat, maka Anda memperoleh skor 5.
6	20	Jika pada jawaban menjelaskan persamaan keduanya sama-sama mengalami glikolisis, maka Anda memperoleh skor 5. Jika pada jawaban menjelaskan perbedaan dari faktor jumlah ATP yang dihasilkan dan kebutuhan oksigen, maka Anda memperoleh skor 10 (masing-masing skor 5 untuk setiap faktor perbedaan yang tepat). Jika pada jawaban memberikan masing-masing contohnya dengan tepat, maka Anda memperoleh skor 5.

3. Nilai Akhir Latihan Soal

Nilai akhir latihan soal dapat Anda peroleh dengan menggunakan rumus berikut:

$$\frac{\text{Nilai Latihan Soal Pilihan Ganda} + \text{Nilai Latihan Soal Uraian}}{2}$$

**C. Nilai Akhir Modul**

Nilai akhir modul dapat diperoleh dengan menggunakan rumus berikut:

$$\text{Nilai Akhir} = \frac{\text{Nilai Akhir Penugasan} + \text{Nilai Akhir Latihan Soal}}{2}$$

## Saran Referensi

<https://biologiklaten.wordpress.com/bab-22-metabolisme-xii/>

<https://idschool.net/sma/percobaan-ingenhousz/>

<https://idschool.net/sma/percobaan-sach/>

Irnaningtyas. 2013. Biologi untuk SMA/MA Kelas XII. Jakarta: Penerbit Erlangga

SMA Negeri 78. 2015. Biologi. <https://materi78.wordpress.com/2013/06/25/biologi-3/>

Sulistiyowati, Omegawati, Ningsih, dan Rumiyati. 2016. Biologi untuk SMA/MA Kelas XII. Klaten: PT. Intan Pariwara

Anda juga dapat mempelajari dengan materi lebih lanjut dengan mengunjungi situs Youtube pada tautan berikut:

1. Video Mengenal Enzim

<https://www.youtube.com/watch?v=s-ZhPMY4owl>

2. Video Struktur dan Faktor yang Memengaruhi Kerja Enzim

[https://www.youtube.com/watch?v=ODEL\\_ffLJEk](https://www.youtube.com/watch?v=ODEL_ffLJEk)

3. Video Cara Kerja Enzim

<https://www.youtube.com/watch?v=bLELIC8mlis>

4. Video Proses Fotosintesis

[https://www.youtube.com/watch?v=\\_8tmZTko-AnY](https://www.youtube.com/watch?v=_8tmZTko-AnY)

5. Video Proses Respirasi Aerob

[https://www.youtube.com/watch?v=Y\\_zv7pxgNvU](https://www.youtube.com/watch?v=Y_zv7pxgNvU)

## Daftar Pustaka

Campbell, N.A., J.B. Reece, dan L.G. Mitchell. 2012. Biologi edisi 8 jilid 1. Jakarta: Penerbit Erlangga

Campbell, N.A., J.B. Reece, dan L.G. Mitchell. 2012. Biologi edisi 8 jilid 2. Jakarta: Penerbit Erlangga

Campbell, N.A., J.B. Reece, dan L.G. Mitchell. 2012. Biologi edisi 8 jilid 3. Jakarta: Penerbit Erlangga

<https://hellosehat.com/hidup-sehat/fakta-unik/manfaat-enzim-katalase-adalah/>

Irnaningtyas. 2013. Biologi untuk SMA/MA Kelas XII. Jakarta: Penerbit Erlangga

SMA Negeri 78. 2015. Biologi. Diakses 13 Mei 2018, dari <https://materi78.wordpress.com/2013/06/25/biologi-3/>

Sulistiyowati, Omegawati, Ningsih, dan Rumiyati. 2016. Biologi untuk SMA/MA Kelas XII. Klaten: PT. Intan Pariwara

## Sumber Gambar

<https://fineartamerica.com/featured/nitrobacter-sp-bacteria-tempasieka.html?product=canvas-print>

[https://id.wikipedia.org/wiki/Enzim\\_katalase](https://id.wikipedia.org/wiki/Enzim_katalase)

[https://id.wikipedia.org/wiki/Berkas:Animal\\_mitochondrion\\_diagram\\_id.svg](https://id.wikipedia.org/wiki/Berkas:Animal_mitochondrion_diagram_id.svg)

<https://materi78.wordpress.com/2013/06/25/biologi-3/>

<https://microbewiki.kenyon.edu/index.php/Nitrosomonas>

<https://ritaelfianis.com/pengertian-proses-dan-tahapan-siklus-calvin/>

<http://robi-biologi.blogspot.com/2015/05/keterkaitan-katabolisme-karbohidrat.html>

<http://umum-pengertian.blogspot.com/2016/11/pengertian-umum-metabolisme-dan-proses.html>

<https://www.alodokter.com/jika-tubuh-kelebihan-asam-laktat>

<http://www.blog.aqiqahbunayyamadun.com/2013/09/22-manfaat-rajin-olahraga-jogging-20-30.html?m=1>

<http://www.ebiologi.net/2016/11/proses-tahapan-respirasi-aerob-skema-dan-enzim.html>

<https://www.edubio.info/2014/09/tantangan-masa-depan-pengembangan.html>

## Glosarium

- Aerob:** proses respirasi yang tidak memerlukan oksigen
- Aktivator:** molekul yang mempermudah terjadinya ikatan antara enzim dan substrat
- Amilase:** enzim yang berperan memecah amilum menjadi maltosa
- Anabolisme:** reaksi penyusunan senyawa-senyawa sederhana menjadi senyawa yang lebih kompleks dan memerlukan energi
- Anaerob:** proses respirasi yang memerlukan oksigen
- Apoenzim:** bagian enzim yang berupa senyawa protein sehingga memiliki sifat tidak tahan panas
- Autotrof:** mampu menghasilkan makanannya sendiri, contohnya tumbuhan
- Biokatalisator:** senyawa yang dapat mempercepat reaksi biologis tetapi tidak ikut bereaksi
- Deaminasi:** reaksi kimiawi yang melepaskan gugus amina dari asam amino
- Dekarboksilasi oksidatif:** reaksi pemutusan gugus karboksil dan oksigen pada asam piruvat
- Denaturasi:** proses penguraian yang terjadi pada protein
- Eksergonik:** reaksi yang menghasilkan/melepaskan energi ke lingkungan
- Elektron:** partikel subatom yang bermuatan negatif
- Endergonik:** reaksi yang memerlukan/menyerap energi dari lingkungan
- Enzim:** zat kimia yang berperan mempercepat reaksi biologis tanpa ikut bereaksi
- Fermentasi:** sebutan lain untuk respirasi anaerob
- Fiksasi karbon:** reaksi pengikatan karbondioksida oleh senyawa ribulosa 1,5-bifosfat (RuBP) dibantu enzim rubisko menghasilkan senyawa 3-fosfoglisarat (PGA)
- Fotoautotrof:** mampu mensintesis senyawa organik dengan bantuan cahaya
- Fotofosforilasi:** reaksi pengikatan fosfat oleh ADP (adenosin difosfat) membentuk ATP dengan bantuan cahaya matahari
- Fotolisis:** reaksi pemecahan molekul air dengan bantuan cahaya matahari
- Fotosintesis:** proses penyusunan senyawa berupa air dan karbondioksida menjadi senyawa kompleks (misalnya glukosa) dengan bantuan cahaya matahari
- Fotosistem:** sistem pada tilakoid yang terdiri atas unit-unit yang mampu menangkap cahaya

matahari

- Glikolisis:** reaksi pemecahan glukosa menjadi dua asam piruvat
- Grana:** tumpukan tilakoid
- Gugus amina:** senyawa organik dan gugus fungsi yang mengandung nitrogen basa dengan pasangan elektron bebas
- Gugus prostetik:** kofaktor berupa senyawa anorganik (mineral) yang berikatan secara kovalen dengan enzim
- Hidrolisis:** reaksi kimia yang memecah molekul H<sub>2</sub>O menjadi H<sup>+</sup> dan OH<sup>-</sup> dan biasanya terjadi pemecahan molekul menjadi lebih sederhana
- Holoenzim:** enzim yang telah berikatan dengan kofaktor
- Hormon:** zat kimia dalam tubuh yang dihasilkan kelenjar endokrin sebagai pengatur sistem dan fungsi organ tubuh
- Inaktivasi:** keadaan tidak aktif
- Inhibitor:** senyawa yang menghambat suatu reaksi kimia
- Katabolisme:** reaksi pembongkaran senyawa kompleks menjadi senyawa-senyawa yang lebih sederhana dan menghasilkan energi
- Katalisator:** senyawa yang dapat mempercepat reaksi kimia
- Kemosintesis:** reaksi penyusunan senyawa sederhana menjadi senyawa kompleks dengan menggunakan senyawa kimia sebagai sumber energi
- Kloroplas:** organel sel tumbuhan sebagai tempat berlangsungnya fotosintesis
- Koenzim:** kofaktor berupa senyawa organik (vitamin) yang berikatan secara non-kovalen dengan enzim
- Kofaktor:** bagian enzim yang berupa senyawa non-protein dan bersifat tahan panas
- Krista:** pelipatan ke dalam yang menonjol dari membran mitokondria
- Matriks mitokondria:** cairan di dalam mitokondria yang mengandung enzim-enzim, ribosom, DNA mitokondria, dan granula
- Metabolisme:** semua proses kimiawi yang terjadi di dalam tubuh makhluk hidup, baik reaksi pembentukan senyawa atau reaksi penguraian senyawa
- Mitokondria:** organel sel yang berperan dalam respirasi seluler
- Oksidasi:** reaksi antara molekul oksigen dengan molekul lain; pelepasan electron dari suatu molekul, atom, atau ion



**Rantai transpor elektron:** reaksi pembebasan energi pada NADH dan FADH<sub>2</sub> melalui rangkaian transpor elektron oleh protein-protein transpor

**Respirasi:** proses metabolisme yang menggunakan glukosa dan oksigen untuk menghasilkan energi dan melepaskan karbondioksida

**Siklus Calvin:** reaksi fotosintesis yang tidak bergantung pada cahaya matahari dan terjadi pada stroma

**Siklus Krebs:** reaksi pembentukan energi yang dimulai antara asetil-KoA dengan asam oksaloasetat membentuk asam sitrat

**Sisi alosterik:** sisi enzim yang berikatan dengan koenzim

**Sitoplasma:** cairan di dalam sel

**Stroma:** berupa cairan di luar tilakoid atau grana yang mengandung enzim-enzim, ribosom, DNA, dan senyawa kimia lainnya.

**Substrat:** zat yang mengalami perubahan oleh enzim; tempat hidup organisme

**Tilakoid:** struktur pada kloroplas berupa sistem membran berbentuk kantung-kantung pipih yang mengandung klorofil dan pigmen fotosintetik lainnya

## Biodata Penulis



**Nama Lengkap** : Harianto Baharuddin, S.Pd.

**Telp Kantor/HP** : 0811489370

**E-Mail** : antopaudni@gmail.com

**Akun Facebook** : Harianto

**Alamat Kantor** : H. Abdul Malik Pattana Endeng, Rangas Kec. Simboro  
Kab. Mamuju

**Bidang Keahlian** : Pendidikan Nonformal

### Riwayat Pekerjaan/Profesi dalam 10 Tahun Terakhir

1. Pamong Belajar BP-PAUD dan Dikmas Papua (2011-2018)
2. Pamong Belajar BP-PAUD dan Dikmas Sulawesi Barat (2018-Sekarang)
3. Asesor BAN PAUD dan PNF (2016-Sekarang)

### Riwayat Pendidikan Tinggi dan Tahun Belajar

1. S1- Pendidikan Luar Sekolah, Universitas Negeri Makassar (2005-2009)
2. S2 Manajemen Pendidikan, Universitas Cenderawasih (2014-Sekarang)

### Judul Buku dan Tahun Terbit (10 Tahun Terakhir)

1. Modul Keterampilan Pembuatan Furniture Minimalis (2015)
2. Modul Keterampilan 5 Langkah Pembuatan Sabun Mandi Buah Merah (2014)

### Judul Penelitian dan Tahun Terbit (10 Tahun Terakhir) -

**Nama Lengkap** : Idham Khalik Idrus, S.Pd

**Telp Kantor/HP** : 085341991776

**E-Mail** : idham.khalid.idrus@gmail.com

**Akun Facebook** : Idham Khalik Idrus

**Alamat Kantor** : Jl. M. Djud P. No. 2

**Bidang Keahlian** : Pendidikan Biologi

### Riwayat Pekerjaan/Profesi dalam 10 Tahun Terakhir

1. Guru Tidak Tetap (GTT)/Honorar di SMAN 1 Majene (2015-sekarang)
2. Praktisi BP PAUD dan Dikmas Sulawesi Barat (2018-2019)

### Riwayat Pendidikan Tinggi dan Tahun Belajar

S1-Program Studi Pendidikan Biologi Universitas Sulawesi Barat (2009-2015)

### Judul Buku dan Tahun Terbit (10 Tahun Terakhir) -

Judul Penelitian dan Tahun Terbit (10 Tahun Terakhir) -



## CATATAN: