

A

erjadi
inya,
didik
alam
yang
pilan
ebut.

erta
sis
eu
nal
an
nu

an.

tu
ko,
dan
sui

ab
eda
me
ing

an
an
ps

n
a
s



Sumber: www.studystark.com/pen_lohasiduk

Tujuan Pembelajaran

1. Peserta didik dapat mendeskripsikan perbedaan metabolisme, katabolisme, dan anabolisme.
2. Peserta didik dapat menganalisis komponen penyusun enzim, sifat-sifat enzim, cara kerja enzim, dan faktor-faktor yang memengaruhi kerja enzim.
3. Peserta didik dapat menganalisis reaksi pada respirasi aerob dan respirasi anaerob, serta perbedaannya.
4. Peserta didik dapat menelaah permasalahan dalam kehidupan yang berkaitan dengan proses metabolisme, misalnya diet tinggi protein untuk mencegah obesitas.
5. Peserta didik dapat menganalisis reaksi terang dan reaksi gelap dalam tahapan fotosintesis, produk fotosintesis, serta faktor-faktor yang memengaruhi fotosintesis.

PROFIL PELAJAR PANCASILA

**Kreatif, Bernalar kritis,
Mandiri**

Kata Kunci:

- Anabolisme
- Enzim
- Fermentasi
- Fotosintesis
- Katabolisme
- Respirasi aerob

Bab 1

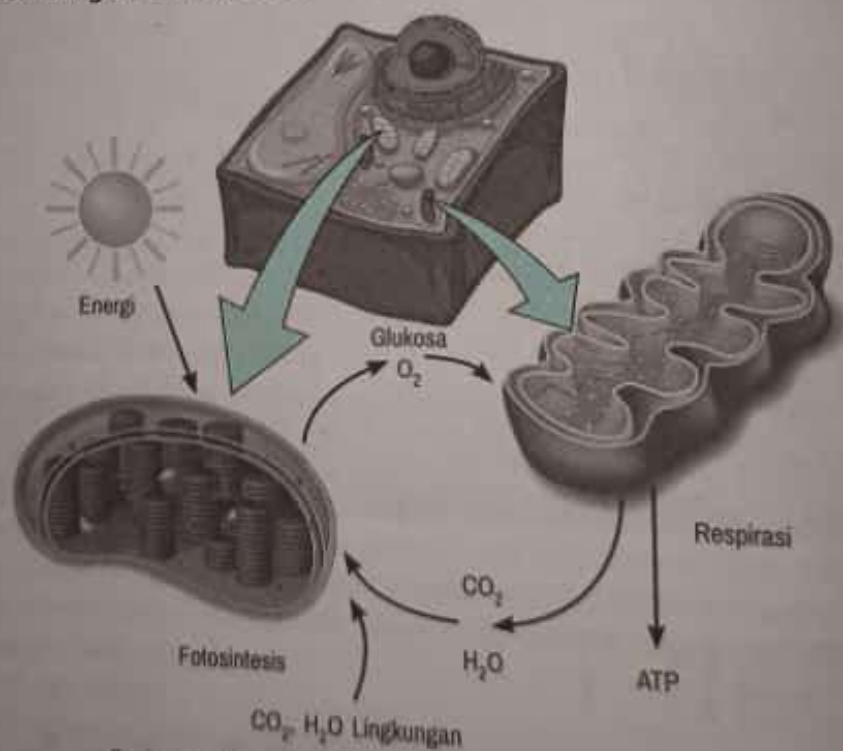
Enzim dan Metabolisme

Pendahuluan

Mengamati Metabolisme Sel

Tahukah Anda bahwa makhluk hidup melakukan metabolisme guna mempertahankan kehidupannya? Metabolisme yang terjadi pada sel tumbuhan berbeda dengan sel hewan atau manusia.

Perhatikan gambar contoh metabolisme sel berikut.



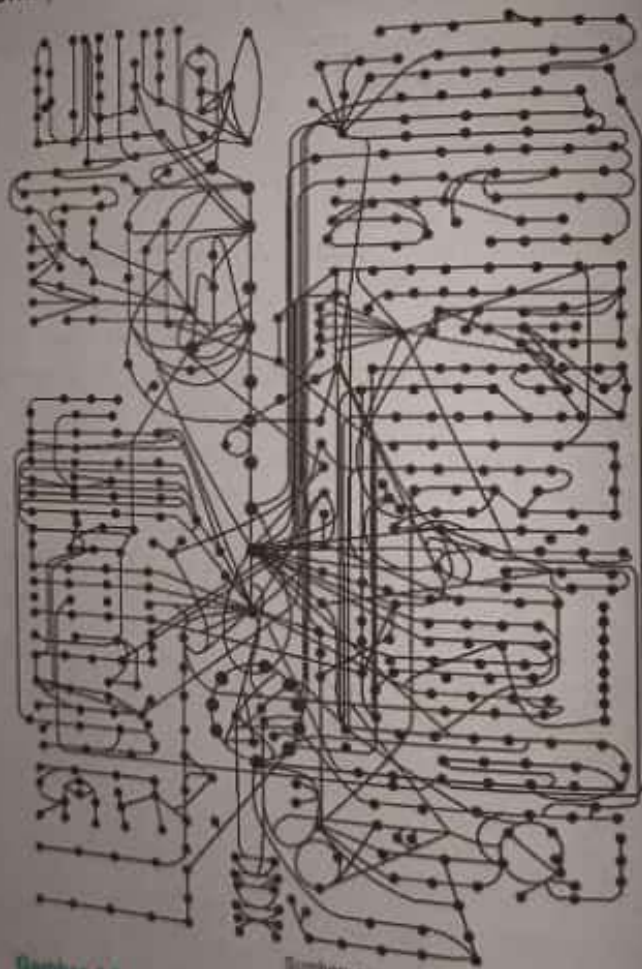
Sumber: www.shutterstock.com/GraphicsRF.com, Aldona Gniskeviciene, ErabarMountain

Gambar 1.2 Metabolisme pada sel tumbuhan.

Tuliskan beberapa pertanyaan atau temukan permasalahan terkait proses metabolisme sel. Selanjutnya, diskusikan dengan teman Anda untuk memprediksi jawaban permasalahan tersebut.

A. Pengertian Metabolisme

Metabolisme (bahasa Yunani, *metabole* = berubah) adalah reaksi-reaksi kimiawi yang terjadi di dalam sel-sel tubuh untuk mengubah zat-zat yang menghasilkan energi ataupun memerlukan energi. Proses metabolisme dapat dibedakan menjadi dua macam, yaitu katabolisme dan anabolisme. Katabolisme merupakan reaksi penguraian senyawa kompleks menjadi senyawa-senyawa yang lebih sederhana dan menghasilkan energi (**reaksi eksergonik**). Senyawa kompleks yang diuraikan dapat berupa karbohidrat, lemak, dan protein. Sementara itu, **anabolisme** merupakan kebalikannya, yaitu reaksi penyusunan dari senyawa-senyawa sederhana menjadi senyawa yang lebih kompleks dan memerlukan energi (**reaksi endergonik**).



Gambar 1.3 Diagram kompleksitas metabolisme.
Sumber: commons.wikimedia.org/Evans Love

Di dalam sel tubuh, terjadi ribuan reaksi metabolisme yang sangat kompleks, seperti yang digambarkan pada diagram kompleksitas metabolisme (Gambar 1.3). Pada diagram kompleksitas metabolisme, terdapat titik-titik yang menggambarkan molekul-molekul dan garis-garis yang

menggambarkan reaksi kimiawi yang mentransformasikan molekul-molekul tersebut. Titik dan garis membentuk jalur-jalur metabolisme dengan urutan tahapan reaksi tertentu.

Proses metabolisme, baik katabolisme maupun anabolisme, melibatkan sejumlah **enzim** dan **ATP** (*adenosine triphosphate*). Enzim diperlukan sebagai katalisator untuk mempercepat terjadinya reaksi. Setiap reaksi memerlukan enzim-enzim yang spesifik. Sementara itu, ATP diperlukan sebagai penyedia energi untuk berlangsungnya reaksi.

B. Enzim



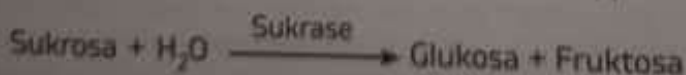
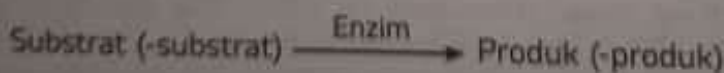
Tes Pengetahuanmu

Cobalah Anda mengunyah nasi sebanyak tiga puluh dua kali. Selanjutnya, jawablah pertanyaan berikut.

1. Apakah Anda merasakan sensasi manis dari nasi setelah dikunyah?
2. Mengapa hal itu terjadi dan apa penyebabnya?
3. Di dalam mulut kita terdapat enzim amilase (ptialin). Bagaimana cara enzim tersebut bekerja?
4. Deskripsikanlah tentang enzim.
5. Tuliskan jenis-jenis enzim yang dihasilkan oleh tubuh manusia.

Enzim (bahasa Yunani, *en* = dalam, *zyme* = ragi) merupakan senyawa protein yang diproduksi oleh sel-sel makhluk hidup dan berfungsi sebagai biokatalisator. Enzim meningkatkan laju reaksi metabolisme, tetapi tidak ikut bereaksi. Peningkatan laju reaksi yang terjadi paling kecil adalah 10^6 kali dibandingkan jika tidak dikatalisis.

Zat yang dipengaruhi oleh enzim disebut **substrat**, sedangkan hasil reaksi disebut **produk**. Nama enzim pada umumnya sesuai dengan nama substrat dan diberi akhiran *-ase*. Beberapa contohnya, seperti lipase (mengubah lipid), selulase (menguraikan selulosa), dan heksokinase (mengubah heksosa). Keseluruhan proses dengan nama enzim dapat ditulis sebagai berikut.



1. Klasifikasi Enzim

Berdasarkan tempat kerjanya, enzim dapat dibedakan menjadi dua macam, yaitu sebagai berikut.

- Enzim intraseluler** adalah enzim yang bekerja di dalam sel, contohnya, katalase. Enzim katalase mampu menguraikan senyawa hidrogen peroksida (H_2O_2) yang merupakan racun bagi sel tubuh menjadi senyawa H_2O dan O_2 sehingga dapat dimanfaatkan kembali oleh tubuh. H_2O_2 merupakan produk sisa dari reaksi transpor pada respirasi aerob yang setiap saat dapat terbentuk. Pada hewan dan manusia, katalase banyak ditemukan dalam sel-sel hati, jantung, ginjal, sumsum tulang, membran mukosa, dan darah. Sementara itu, pada sel tumbuhan, katalase banyak ditemukan pada sel umbi kentang, kecambah, dan pucuk daun.
- Enzim ekstraseluler** adalah enzim yang bekerja di luar sel. Contohnya, enzim-enzim pencernaan yang disekresikan oleh organ pencernaan (pepsin, renin, atau lipase yang disekresikan oleh lambung). Enzim ekstraseluler tersebut memengaruhi bahan makanan di dalam rongga organ pencernaan, dengan kata lain, terjadi di luar sel.

Berdasarkan tipe reaksi yang dikatalisis, enzim dapat dibagi menjadi enam kelompok, yaitu sebagai berikut.

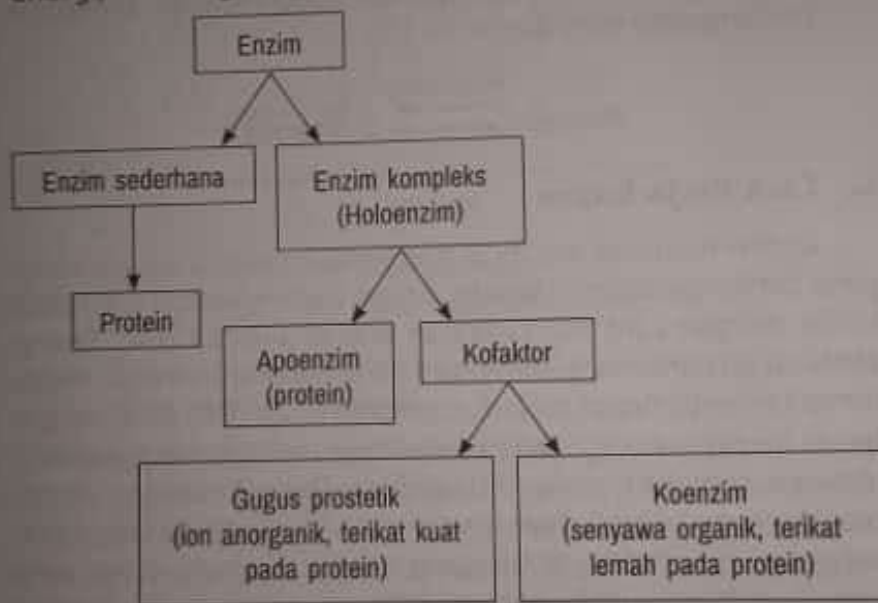
- Oksidoreduktase**, mengkatalisis reaksi oksidasi dan reduksi.
- Transferase**, mengkatalisis pemindahan gugus, seperti glikosil, metil, atau fosforil.
- Hidrolase**, mengkatalisis pemutusan hidrolitik C - C, C - O, C - N, atau ikatan lainnya.
- Liase**, mengkatalisis pemutusan C - C, C - O, C - N, atau ikatan lain dengan eliminasi atom yang menghasilkan ikatan rangkap.
- Isomerase**, mengkatalisis perubahan geometrik atau struktural dalam satu molekul.
- Ligase**, mengkatalisis penyatuan dua molekul yang dikaitkan dengan hidrolisis ATP.

2. Komponen Penyusun Enzim

Enzim dapat dibedakan ke dalam dua golongan, yaitu enzim sederhana dan enzim lengkap. Enzim sederhana hanya tersusun oleh protein, contohnya pepsin dan tripsin. Sedangkan enzim lengkap tersusun atas **apoenzim** dan **kofaktor**. Gabungan antara apoenzim dan kofaktor disebut **holoenzim**.

Apoenzim merupakan protein yang bersifat tidak stabil dan dipengaruhi oleh suhu dan pH. Kofaktor meliputi **gugus prostetik** serta **koenzim**. Kofaktor tersebut berfungsi sebagai katalisator yang dapat meningkatkan fungsi enzim, misalnya enzim ptialin dalam air ludah akan bekerja lebih baik jika terdapat ion klorida dan kalsium.

Gugus prostetik berupa ion anorganik (misalnya kalsium/Ca, klor/Cl, natrium/Na, kalium/K) dan atom logam (misalnya seng/Zn, magnesium/Mg, tembaga/Cu, besi/Fe). Sedangkan **koenzim** berupa senyawa organik, misalnya vitamin B (tiamin), B2 (riboflavin), B3 (niasin), B5 (asam pantotenat), B6 (piridoksin), B11 (asam folat), B12 (kobalamin), vitamin H (biotin), koenzim A, NAD⁺ (*nicotinamide adenine dinucleotide*), FMN (*flavin mononucleotide*), dan FAD⁺ (*flavin adenine dinucleotide*). Koenzim berfungsi menghasilkan energi, menangkal radikal bebas, dan reaksi redoks.



Gambar 1.4 Komponen penyusun enzim.

3. Sifat-Sifat Enzim

- Enzim memiliki sifat seperti protein, yaitu menggumpal jika dipanaskan. Suhu yang panas akan mengubah struktur dan bentuk sisi aktif enzim. Pada umumnya, enzim akan rusak pada suhu di atas 50°C. Rusaknya enzim karena panas disebut **denaturasi**.
- Enzim bekerja secara spesifik. Enzim hanya bekerja pada substrat tertentu. Contohnya, enzim ptialin di dalam mulut hanya akan memengaruhi karbohidrat, meskipun di dalam mulut terdapat protein dan lemak.

- c. Enzim berfungsi sebagai katalisator yang akan mempercepat terjadinya reaksi dengan cara menurunkan energi aktivasi (EA).
- d. Enzim dapat digunakan berulang kali karena tidak harus bereaksi. Namun, enzim dapat rusak sehingga harus diganti.
- e. Enzim diperlukan dalam jumlah yang sedikit. Enzim tidak ikut bereaksi sehingga dapat bekerja bolak-balik atau enzim tersebut tidak rusak, tidak perlu diganti.
- f. Pada umumnya, enzim dapat bekerja bolak-balik atau dua arah (*reversible*). Artinya, enzim dapat menguraikan suatu senyawa dan juga dapat menyusun senyawa itu kembali. Contohnya, maltase yang menguraikan maltosa, jika terdapat maltosa lebih banyak daripada glukosa, reaksi berlangsung dari kiri ke kanan. Sebaliknya, jika jumlah glukosa lebih banyak daripada maltosa, reaksinya berlangsung dari kanan ke kiri.



4. Cara Kerja Enzim

Enzim memiliki sisi aktif (berbentuk celah atau kantong) yang berfungsi sebagai **katalis**. Enzim meningkatkan laju reaksi kimia dengan cara menurunkan energi aktivasi (EA). **Energi aktivasi** adalah energi minimum yang dibutuhkan agar reaksi kimia tertentu dapat terjadi. Energi aktivasi (EA) yang sangat besar merupakan rintangan terjadinya reaksi sehingga energi aktivasi tersebut perlu diturunkan. Pada beberapa reaksi metabolisme, diperlukan energi aktivasi yang terlalu besar sehingga diperlukan suhu yang tinggi. Namun, suhu yang tinggi akan merusak, bahkan bisa mematikan sel. Dengan adanya enzim, reaksi dapat berlangsung tanpa merusak atau mematikan sel.



Tes Pengetahuannya

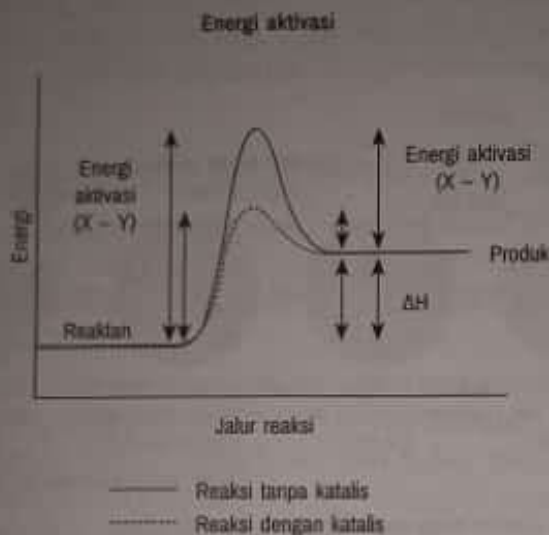
Enzim bekerja secara spesifik. Berikan tanda centang (✓) pada kolom Benar atau Salah untuk setiap pernyataan tentang kerja enzim.

Tabel 1.3 Kerja enzim.

No	Pernyataan	Benar	Salah
1.	Enzim meningkatkan laju reaksi kimia dengan memanfaatkan energi aktivasi.		

Lanjutan Tabel 1.1

No.	Pernyataan	Benar	Salah
2	Suatu enzim hanya dapat bekerja pada substrat tertentu.		
3	Produk akan terbentuk setelah substrat berikatan dengan sisi aktif enzim.		
4	Senyawa inhibitor bersifat meningkatkan kerja enzim.		
5	Enzim pada reaksi anabolisme menguraikan senyawa substrat menjadi senyawa yang lebih sederhana.		



Gambar 1.5 Perbandingan energi aktivasi (EA) pada reaksi dengan enzim dan tanpa enzim.

Enzim berbentuk tiga dimensi dengan sisi aktif yang sangat spesifik sehingga hanya molekul substrat tertentu yang dapat berikatan. Dengan kata lain, enzim tertentu dapat bekerja hanya pada substrat tertentu. Mula-mula enzim akan berikatan dengan substrat. Setelah terbentuk produk, enzim akan terlepas kembali. Ada dua teori yang dapat menerangkan kerja enzim terhadap substrat, yaitu **teori gembok dengan anak kuncinya (lock and key theory)** dan **teori kecocokan yang terinduksi (induced fit theory)**.

a. Teori Gembok dengan Anak Kuncinya (Lock and Key Theory)

Bentuk sisi aktif enzim sangat spesifik sehingga substrat harus memiliki bentuk molekul tertentu yang sesuai. Enzim akan bergabung dengan substrat membentuk ikatan kompleks bagaikan gembok dengan anak kuncinya. Namun, jika bentuk sisi aktif enzim dengan substrat tidak cocok, tidak akan terjadi ikatan kompleks. Dalam ikatan kompleks, substrat akan bereaksi dengan energi aktivasi (EA) yang rendah.