

BAB VI

ENZIM

Kompetensi Dasar:

1. Mampu menghubungkan karakteristik sifat enzim dengan mekanisme kerja enzim di dalam tubuh tumbuhan
2. Mampu mendiskripsikan peranan enzim pada metabolisme tubuh tumbuhan
3. Mampu membuat klasifikasi singkat penggolongan enzim

A. Sejarah Tentang Enzim

Pada awalnya, enzim dikenal sebagai protein oleh *Sumner* (1926) yang telah berhasil mengisolasi urease dari tumbuhan kara pedang. Urease adalah enzim yang dapat menguraikan urea menjadi CO_2 dan NH_3 . Beberapa tahun kemudian *Northrop* dan *Kunitz* dapat mengisolasi pepsin, tripsin, dan kinotripsin. Kemudian makin banyak enzim yang telah dapat diisolasi dan telah dibuktikan bahwa enzim tersebut ialah protein.

Dari hasil penelitian para ahli biokimia ternyata banyak enzim mempunyai gugus bukan protein, jadi termasuk golongan protein majemuk. Gugus bukan protein ini disebut dengan kofaktor ada yang terikat kuat pada protein dan ada pula yang tidak terikat kuat oleh protein. Gugus terikat kuat pada bagian protein artinya sukar terurai dalam larutan yang disebut dengan Prostetik, sedang yang tidak begitu terikat kuat (mudah dipisahkan secara dialisis) disebut dengan *Koenzim*. Keduanya ini dapat memungkinkan enzim bekerja terhadap substrat.

B. Pengertian Enzim

Enzim adalah biomolekul yang berfungsi sebagai katalis (senyawa yang mempercepat proses reaksi tanpa habis bereaksi) dalam suatu reaksi kimia.

Bila zat ini tidak ada maka proses-proses tersebut akan terjadi lambat atau tidak berlangsung sama sekali. Hampir semua enzim merupakan protein. Enzim adalah biokatalisator, yang artinya dapat mempercepat reaksi-reaksi biologi tanpa mengalami perubahan struktur kimia. Pada reaksi yang dikatalisasi oleh enzim, molekul awal reaksi disebut sebagai substrat, dan enzim mengubah molekul tersebut menjadi molekul-molekul yang berbeda, disebut produk. Hampir semua proses biologis sel memerlukan enzim agar dapat berlangsung dengan cepat.

Menurut Kuhne (1878), enzim berasal dari kata *in* + *zyme* yang berarti sesuatu di dalam ragi. Berdasarkan penelitian maka dapat disimpulkan bahwa enzim adalah suatu protein yang berupa molekul-molekul besar. Pada enzim terdapat bagian protein yang tidak tahan panas yaitu disebut dengan *apoenzim*, sedangkan bagian yang bukan protein adalah bagian yang aktif dan diberi nama *gugus prostetik*, biasanya berupa logam seperti besi, tembaga, seng atau suatu bahan senyawa organik yang mengandung logam.

Apoenzim dan gugus prostetik merupakan suatu kesatuan yang disebut *holoenzim*, tetapi ada juga bagian enzim yang apoenzim dan gugus prostetiknya tidak menyatu. Bagian gugus prostetik yang lepas kita sebut *koenzim*, yang aktif seperti halnya gugus prostetik. Contoh koenzim adalah vitamin atau bagian vitamin (misalnya: vitamin B1, B2, B6, niasin dan biotin).

C. Enzim di dalam Sel

Sel hidup ibarat pabrik kimia yang bergantung pada energi yang harus mengikuti berbagai kaidah kimia. Reaksi kimia yang memungkinkan adanya kehidupan disebut metabolisme. Terdapat ribuan reaksi berkesinambungan yang terjadi di dalam setiap sel, sehingga metabolisme merupakan reaksi yang menakjubkan. Agar sel berfungsi dan berkembang dengan sebagaimana mestinya, lintasan metaboliknya harus diatur dengan seksama.

Sel dapat mengatur lintasan metabolik yang mana yang berjalan, dan seberapa cepat, dengan cara memproduksi katalis yang tepat yang dinamakan *ENZIM*, dalam jumlah yang sesuai pada saat diperlukan. Hampir semua reaksi kimia kehidupan berlangsung sangat lambat tanpa katalis, dan enzim merupakan katalis yang lebih khas dan lebih kuat dibandingkan dengan ion logam atau senyawa anorganik lainnya yang dapat diserap tumbuhan dari tanah. Jadi, enzim umumnya meningkatkan kecepatan reaksi dengan faktor antara 10^8 sampai 10^{20} . Di banding dengan katalis buatan manusia, enzim biasanya biasanya 10^8 sampai 10^9 kali lebih efektif. Enzim juga jauh lebih

spesifik dari pada katalis anorganik atau bahkan katalis organik sintetik dalam hal ragam reaksi yang dapat dikatalisis, sehingga reaksi dapat dikendalikan dengan terbentuknya senyawa tertentu yang yang dibutuhkan untuk kebutuhan senyawa tertentu yang dibutuhkan untuk kehidupan. Katalisator bersifat umum, hanya berfungsi untuk mempercepat reaksi yang dapat digunakan berulang-ulang (satu katalisator mampu mereaksikan 2 atau 3 bahkan lebih reaksi) Enzim bersifat lebih spesifik hanya digunakan untuk satu reaksi saja (satu enzim hanya untuk satu reaksi).

Di dalam sel enzim tidak terdistribusi merata di seluruh plasma, namun terkonsentrasi pada organela-organela tempat terjadinya reaksi. Misalnya enzim yang berkaitan dengan reaksi Calvin dan Krebs berkumpul di mitokondria dan kloroplas. Enzim yang dibutuhkan dalam sintesis DNA dan RNA serta untuk proses mitosis terdapat di dalam inti sel. Enzim-enzim di dalam sel akan bekerja secara berkesinambungan. Artinya produk suatu tahap reaksi akan dibebaskan pada tempat dimana produk ini dapat segera dikonversi oleh enzim lain berikutnya. Ada beberapa enzim yang dijumpai di luar organela, namun juga tidak tersebar karena adanya retikulum endoplasma yang bercabang-cabang.

D. Sifat-Sifat Enzim

Sifat-sifat enzim adalah sebagai berikut :

1. *Enzim aktif dalam jumlah yang sangat sedikit.* Dalam reaksi biokimia hanya sejumlah kecil enzim yang dibutuhkan untuk mengubah sejumlah besar substrat menjadi produk hasil.
2. *Enzim tidak terpengaruh oleh reaksi yang dikatalisnya pada kondisi stabil.* Karena sifat protein dan enzim, aktivitasnya dipengaruhi antara lain oleh *pH* dan *suhu*. Pada kondisi yang dianggap tidak optimum suatu enzim merupakan senyawa relatif tidak stabil dan dipengaruhi oleh reaksi yang dikatalisisnya.
3. Walaupun enzim mempercepat penyelesaian suatu reaksi, *enzim tidak mempengaruhi kesetimbangan reaksi* tersebut. Tanpa enzim reaksi dapat balik yang biasa terdapat dalam sistem hidup berlangsung ke arah kesetimbangan pada laju yang sangat lambat. Suatu enzim akan menghasilkan kesetimbangan reaksi itu pada kecepatan yang lebih tinggi.
4. *Kerja katalis enzim spesifik.* Enzim menunjukkan kekhasan untuk reaksi yang dikatalisnya. Suatu enzim yang mengkatalisis satu reaksi, tidak akan mengkatalis reaksi yang lain.

E. Nomenklatur Enzim

Lebih dari 5000 macam enzim telah ditemukan pada organisme hidup, dan akan bertambah terus sejalan dengan terus berlangsungnya penelitian. Tiap enzim dinamai menurut sistem baku dan juga diberinama umum yang sederhana. Pada kedua sistem tersebut, nama enzim umumnya diakhiri dengan *-ase* dan mencirikan substrat yang terlibat dan jenis reaksi yang dikatalisanya. Sebagai contoh *sitokrom oksidase*, suatu enzim utama dalam respirasi, mengoksidasi (melepas elektron dari) molekul sitokrom. *Asam malat dehidrogenase* : melepaskan dua atom hidrogen dari (meng-dehidrogenasi) asam malat. Nama umum ini walaupun singkat tidak memberikan keterangan yang cukup tentang reaksi yang dikatalisis. Contoh di atas tidak menjelaskan siapa penerima elektron atau atom hidrogen yang dilepaskan.

Persatuan Internasional Biokimia memberi nama lebih panjang tapi lebih deskriptif dan baku bagi semua enzim yang telah dicirikan dengan jelas. Sebagai contoh, *sitokrom oksidase* dinamakan *sitokrom c:O oksidoreduktase*, menunjukkan bahwa elektron dilepaskan dari sitokrom tertentu, yakni jenis c, dan molekul oksigen adalah penerima elektron. *Dehidrogenase asam malat* di sebut *L-malat:NAD oksidoreduktase*, menunjukkan enzim tersebut khas untuk bentuk L-asam malat terionisasi, dan molekul yang disingkat NAD adalah penerima atom hidrogen.

Biasanya enzim mempunyai akhiran *-ase*. Di depan *-ase* digunakan nama substrat di mana enzim itu bekerja, atau nama reaksi yang dikatalisis. Misal : selulase, dehidrogenase, urease, dan lain-lain. Tetapi pedoman pemberian nama tersebut diatas tidak selalu digunakann. Hal ini disebabkan nama tersebut digunakan sebelum pedoman pemberian nama diterima dan nama tersebut sudah umum digunakan. Misalnya pepsin, tripsin, dan lain-lain. Dalam Daftar Istilah Kimia Organik (1978), akhiran *-ase* tersebut diganti dengan *-asa*.

Enzim diberi nama dengan menambahkan akhiran *ase* terhadap nama substrat yang diubah oleh enzim tersebut, misalnya enzim amilase mengubah amilum menjadi glukosa; enzim yang mengubah lemak (lipid) adalah lipase; enzim-enzim yang mengadakan perubahan karbohidrat merupakan kelompok karbohidrase.

Contoh-contohnya:

- Peptidase, yaitu enzim yang menguraikan peptida menjadi asam amino.
- Gelatinase, yaitu enzim yang menguraikan gelatin.
- Renin, yaitu enzim yang menguraikan kasein dari susu.

b. Oksidase dan Reduktase

Yaitu enzim yang menolong dalam proses oksidasi dan reduksi.

Enzim Oksidase dibagi lagi menjadi;

- Dehidrogenase : enzim ini memegang peranan penting dalam mengubah zat-zat organik menjadi hasil-hasil oksidasi.
- Katalase : enzim yang menguraikan hidrogen peroksida menjadi air dan oksigen.

c. Desmolase

Yaitu enzim-enzim yang memutuskan ikatan-ikatan C-C, C-N dan beberapa ikatan lainnya.

Enzim Desmolase dibagi lagi menjadi :

1. Karboksilase : yaitu enzim yang mengubah asam piruvat menjadi asetaldehida.
2. Transaminase : yaitu enzim yang memindahkan gugusan amine dari suatu asam amino ke suatu asam organik sehingga yang terakhir ini berubah menjadi suatu asam amino.

G. Kofaktor (Aktifator, Gugus Prostetik Dan Koenzim)

Pada mulanya enzim dianggap hanya terdiri dari protein dan memang ada enzim yang ternyata hanya tersusun dari protein saja. Misalnya pepsin dan tripsin. Tetapi ada juga enzim-enzim yang selain protein juga memerlukan komponen selain protein. Komponen selain protein pada enzim dinamakan kofaktor. Koenzim dapat merupakan ion logam/ metal, atau molekul organik yang dinamakan koenzim. Gabungan antara bagian protein enzim (apoenzim) dan kofaktor dinamakan holoenzim.

Enzim yang memerlukan ion logam sebagai kofaktornya dinamakan metaloenzim. Ion logam ini berfungsi untuk menjadi pusat katalis primer,

menjadi tempat untuk mengikat substrat, dan sebagai stabilisator supaya enzim tetap aktif.

Tabel 1.
Beberapa enzim yang mengandung ion logam sebagai kofaktornya

Ion Logam	Enzim
Zn^{2+}	Alkohol dehidrogenase Karbonat anhidrase Karboksiptidase
Mg^{2+}	Fosfohidrolase Fosfotransferase
Fe^{2+} / Fe^{3+}	Sitokrom Peroksida Katalase Feredoksin
Cu^{2+} / Cu^{+}	Tirosine Sitokrom oksidase
K^{+}	Piruvat kinase (juga memerlukan Mg^{2+})
Na^{+}	Membrane sel ATPase (juga memerlukan K^{+} dan Mg^{2+})

1. Aktifator

Aktifator dapat mempercepat jalannya reaksi karena aktifator adalah zat penggiat, contoh aktifator enzim adalah ion Mg, Ca, zat organik seperti KoA

2. Gugus Prostetik

Gugus Prostetik yaitu bagian enzim yang tidak tersusun dari protein, tetapi dari ion-ion logam atau molekul-molekul organik yang disebut koenzim. Molekul gugus prostetik lebih kecil dan tahan panas (termostabil), ion-ion logam yang menjadi kofaktor berperan sebagai stabilisator agarenzim tetap aktif. Koenzim yang terkenal pada rantai pengangkutan elektron (respirasi sel), yaitu NAD (Nikotinamid Adenin Dinukleotida), FAD (Flavin Adenin Dinukleotida), Sitokrom.

Enzim mengatur kecepatan dan kekhususan ribuan reaksi kimia yang berlangsung di dalam sel. Walaupun enzim dibuat di dalam sel, tetapi untuk bertindak sebagai katalis tidak harus berada di dalam sel. Reaksi yang dikendalikan oleh enzim antara lain ialah respirasi, pertumbuhan dan perkembangan, kontraksi otot, fotosintesis, fiksasi, nitrogen, dan pencernaan.

3. Koenzim

Dalam peranannya, enzim sering memerlukan senyawa organik tertentu selain protein. Ditinjau dari fungsinya, dikenal adanya koenzim yang berperan sebagai pemindah hidrogen, pemindah elektron, pemindah gugusan kimia tertentu ("*group transferring*") dan koenzim dari isomerase dan liase.

Tabel 2.
Contoh-contoh Koenzim dan Peranannya

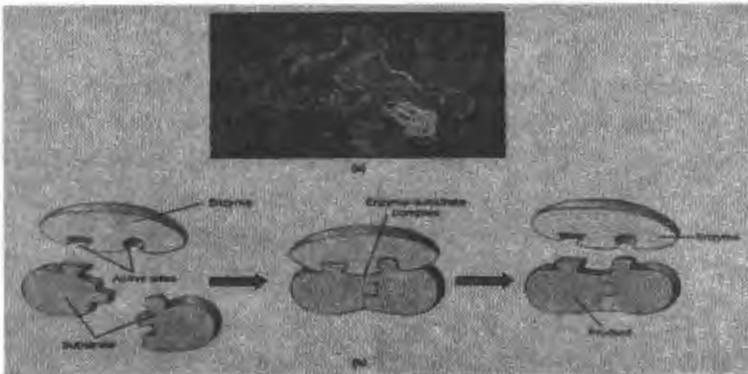
No	Kode	Singkatan dari	Yang Dipindahkan
1.	NAD	Nikotinamida-adenina dinukleotida	Hidrogen
2.	NADP	Nikotinamida-adenina dinukleotida fosfat	Hidrogen
3.	FMN	Flavin mononukleotida	Hidrogen
4.	FAD	Flavin-adenina dinukleotida	Hidrogen
5.	Ko-Q	Koenzim Q atau Quinon	Hidrogen
6.	Sit	Sitokrom	Elektron
7.	Fd	Ferredoksin	Elektron
8.	ATP	Adenosina trifosfat	Gugus fosfat
9.	PAPS	Fosfoadenil sulfat	Gugus sulfat
10.	UDP	Uridina difosfat	Gula
11.	Biotin	Biotin	Karboksil (CO ₂)
12.	Ko-A	Koenzim A	Asetil
13.	TPP	Tiamin pirofosfat	C ₂ -aldehida

H. Cara Kerja Enzim

Enzim juga dapat dibedakan menjadi eksoenzim dan endoenzim berdasarkan tempat kerjanya, ditinjau dari sel yang membentuknya. Eksoenzim ialah enzim yang aktivitasnya diluar sel. Endoenzim ialah enzim yang aktivitasnya didalam sel.

Selain eksoenzim dan endoenzim, dikenal juga enzim konstitutif dan enzim induktif. Enzim konstitutif ialah enzim yang dibentuk terus-menerus oleh sel tanpa peduli apakah substratnya ada atau tidak. Enzim induktif (enzim adaptif) ialah enzim yang dibentuk karena adanya rangsangan substrat atau senyawa tertentu yang lain. Misalnya pembentukan enzim beta-galaktosida pada *Escherichia coli* yang diinduksi oleh laktosa sebagai substratnya. Tetapi ada senyawa lain juga yang dapat menginduksi enzim tersebut walaupun tidak merupakan substarnya, yaitu melibiosa. Tanpa adanya laktosa atau melibiosa, maka enzim beta-galaktosidase tidak disintesis, tetapi sintesisnya akan dimulai bila ditambahkan laktosa atau melibiosa.

Enzim bekerja dengan cara menempel pada permukaan molekul zat-zat yang bereaksi dan dengan demikian mempercepat proses reaksi. Percepatan terjadi karena enzim menurunkan energi pengaktifan yang dengan sendirinya akan mempermudah terjadinya reaksi. Sebagian besar enzim bekerja secara khas, yang artinya setiap jenis enzim hanya dapat bekerja pada satu macam senyawa atau reaksi kimia. Hal ini disebabkan perbedaan struktur kimia tiap enzim yang bersifat tetap. Sebagai contoh, enzim α -amilase hanya dapat digunakan pada proses perombakan pati menjadi glukosa.



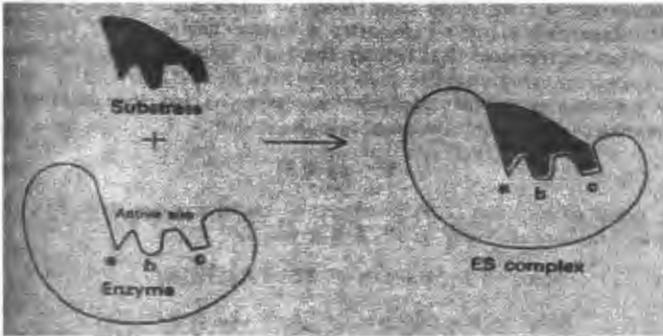
Gambar : Cara Kerja Enzim <http://wordpress.com/2010/03/15/enzim-enzim-pada-tumbuhan/>

Ada dua cara kerja enzim, yaitu: model kunci gembok dan induksi pas.

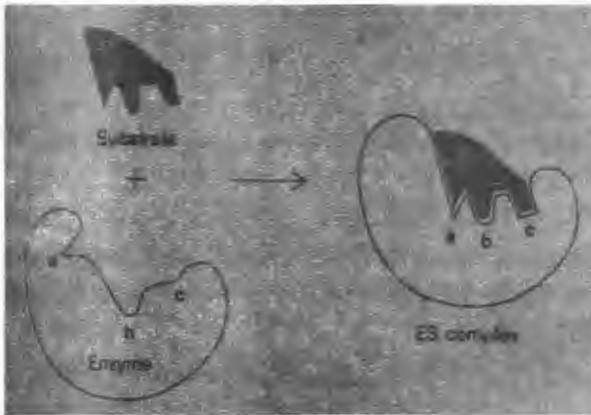
a. Model kunci gembok (block and key).

Enzim dimisalkan sebagai gembok karena memiliki sebuah bagian kecil yang dapat berikatan dengan substrat bagian tersebut disebut sisi aktif. Substrat dimisalkan sebagai kunci karena dapat berikatan secara pas dengan sisi aktif enzim (gembok).

b. Induksi Pas (Model Induced Fit)



Pada model ini sisi aktif enzim dapat berubah bentuk sesuai dengan bentuk substratnya. (<http://gened.emc.maricopa.edu/bio/bio181/BIOBK/BioBookPS.html>. Diakses tanggal 2 Desember 2010)



<http://wesgatak.wordpress.com/2010/03/15/enzim-enzim-pada-tumbuhan/>

I. Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Kerja Enzim

Kerja enzim dipengaruhi oleh beberapa faktor, terutama adalah temperatur, derajat keasaman (pH), konsentrasi enzim dan substrat, kofaktor dan inhibitor. Tiap enzim memerlukan suhu dan pH (tingkat keasaman) optimum yang berbeda-beda, karena enzim adalah protein, yang dapat mengalami perubahan bentuk jika suhu dan keasaman berubah. Di luar suhu atau pH yang sesuai, enzim tidak dapat bekerja secara optimal atau strukturnya akan mengalami kerusakan. Hal ini akan menyebabkan enzim kehilangan fungsinya

sama sekali. Kerja enzim juga dipengaruhi oleh molekul lain. Inhibitor adalah molekul yang menurunkan aktivitas enzim, sedangkan aktivator adalah yang meningkatkan aktivitas enzim. Banyak obat dan racun adalah inhibitor enzim.

Faktor – faktor tersebut diantaranya:

a. Temperatur

Enzim tersusun dari protein, maka enzim sangat peka terhadap temperature. Temperature yang terlalu tinggi dapat menyebabkan denaturasi protein. Temperature yang terlalu rendah dapat menghambat reaksi. Pada umumnya temperatur optimum enzim adalah 30 – 40°C. Kebanyakan enzim tidak menunjukkan reaksi jika suhu turun sampai 0°C, namun enzim tidak rusak, bila suhu normal maka enzim akan aktif kembali. Enzim tahan pada suhu rendah, namun rusak diatas suhu 50°C.

b. Perubahan pH

Enzim juga sangat terpengaruh oleh pH. Perubahan pH dapat mempengaruhi perubahan asam amino kunci pada sisi aktif enzim sehingga menghalangi sisi aktif berkombinasi dengan substratnya. pH optimum yang diperlukan berbeda – beda tergantung jenis enzimnya.

c. Konsentrasi Enzim dan Substrat

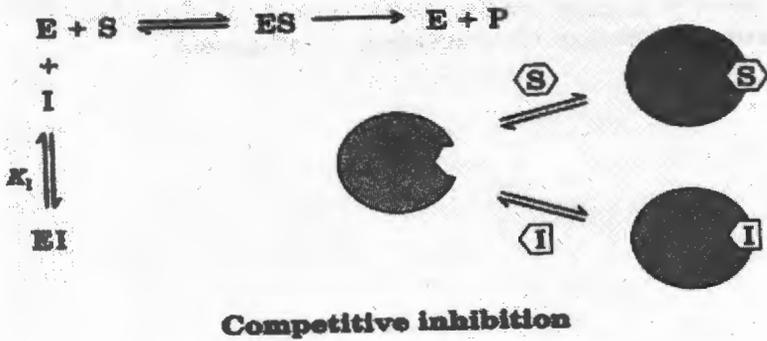
Agar reaksi berjalan optimum, maka perbandingan jumlah antara enzim dan substrat harus sesuai. Jika enzim terlalu sedikit dan substrat terlalu banyak reaksi akan berjalan lambat bahkan ada substrat yang tidak terkatalisasi. Semakin banyak enzim, reaksi akan semakin cepat.

d. Inhibitor Enzim

Seringkali enzim dihambat oleh suatu zat yang disebut inhibitor, ada dua jenis inhibitor yaitu sebagai berikut:

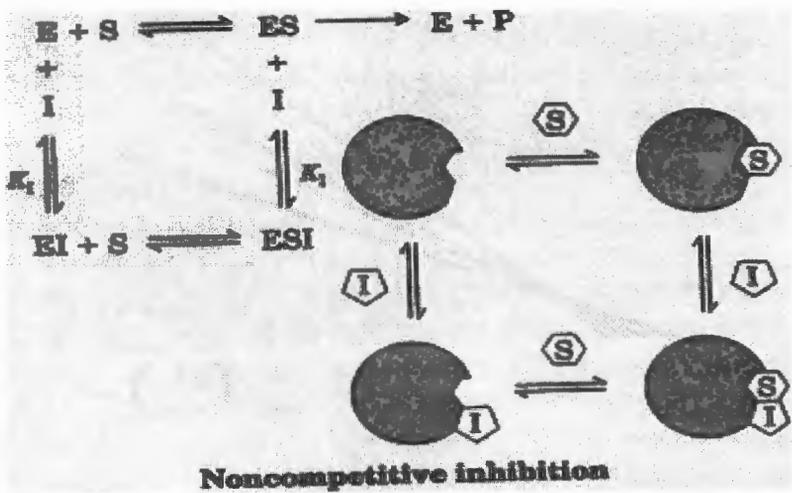
1. Inhibitor kompetitif.

Pada penghambatan ini zat – zat penghambat mempunyai struktur yang mirip dengan struktur substrat. Dengan demikian baik substrat maupun zat penghambat berkompetisi atau bersaing untuk bersatu dengan sisi aktif enzim, jika zat penghambat lebih dulu berikatan dengan sisi aktif enzim, maka substratnya tidak dapat lagi berikatan dengan sisi aktif enzim.



2. Inhibitor nonkompetitif

Pada penghambatan ini, substrat sudah tidak dapat berikatan dengan kompleks enzim- inhibitor, karena sisi aktif enzim berubah.



J. Sifat-Sifat Enzim

Enzim mempunyai sifat-sifat sebagai berikut:

1. Biokatalisator, mempercepat jalannya reaksi tanpa ikut bereaksi.
2. Thermolabil; mudah rusak, bila dipanasi lebih dari suhu 60°C , karena enzim tersusun dari protein yang mempunyai sifat thermolabil.
3. Merupakan senyawa protein sehingga sifat protein tetap melekat pada enzim.

4. Dibutuhkan dalam jumlah sedikit, sebagai biokatalisator, reaksinya sangat cepat dan dapat digunakan berulang-ulang.
5. Bekerjanya ada yang di dalam sel (endoenzim) dan di luar sel (ektoenzim), contoh ektoenzim: amilase, maltase.
6. Umumnya enzim bekerja mengkatalisis reaksi satu arah, meskipun ada juga yang mengkatalisis reaksi dua arah, contoh: lipase, mengkatalisis pembentukan dan penguraian lemak.

lipase

Lemak+H₂O —> Asam lemak + Gliserol

7. Bekerjanya spesifik ; enzim bersifat spesifik, karena bagian yang aktif (permukaan tempat melekatnya substrat) hanya setangkup dengan permukaan substrat tertentu.
8. Umumnya enzim tak dapat bekerja tanpa adanya suatu zat non protein tambahan yang disebut kofaktor.

Tugas

1. Uraikanlah hubungan karakteristik sifat enzim dengan mekanisme kerja enzim di dalam tubuh tumbuhan
2. Jabarkan minimal 3 peranan enzim pada metabolisme tubuh tumbuhan
3. Buatlah klasifikasi singkat penggolongan enzim

GLOSARIUM

Prostetik:

Gugus terikat kuat pada bagian protein.

Koenzim:

Gugus yang tidak begitu terikat kuat dengan protein.

Apoenzim:

Bagian protein dari enzim yang tidak tahan panas.

Prostetik:

Bagian aktif yang bukan protein.

Eksoenzim:

Enzim yang aktivitasnya diluar sel.

Endoenzim:

Enzim yang aktivitasnya didalam sel.

Enzim Induktif:

Enzim yang dibentuk karena adanya rangsangan substrat atau senyawa tertentu yang lain.

Holoenzim:

Keseluruhan kesatuan unit enzim.