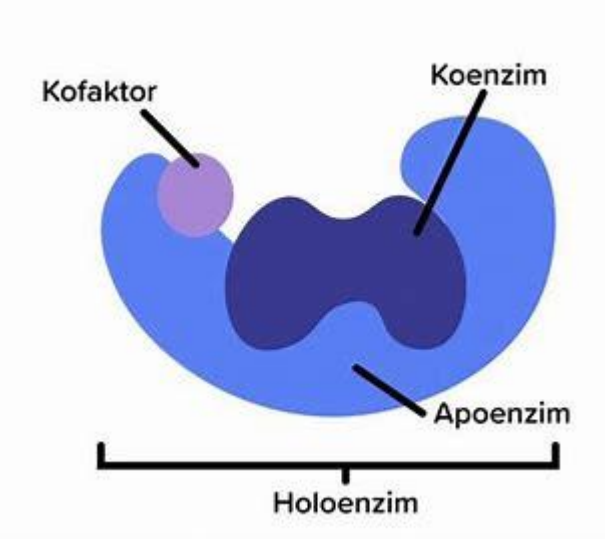


ENZIM

Dasar Bioproses

Dody Guntama, S.T., M. Eng

Materi Pembelajaran

- Klarifikasi Enzim
- Kerja Enzim, Struktur, dan bagian enzim
- Karakteristik Penting Enzim
- Faktor yang Berpengaruh
- Kinetika Reaksi Enzimatis
- Jenis-Jenis Inhibisi Enzim

ENZIM?

1) Enzim adalah protein yang dapat bertindak sebagai katalis yang ada dalam semua organisme hidup - mikroorganisme, tumbuhan, hewan, dan manusia. Sebagai katalis, enzim berfungsi sebagai senyawa yang mampu meningkatkan reaksi kimia dalam sistem biologis.

2) nzim biasanya protein dengan berat molekul tinggi (15.000 <MW< beberapa juta dalton) yang bertindak sebagai katalis.

3) Enzim diberi nama dengan menambahkan akhiran -ase di akhir nama substrat tempat enzim bekerja, contoh: lipase (mengkatalisis hidrolisis lemak), atau reaksi yang dikatalisis, contoh: alkohol dehydrogenase (mengkatalisis reaksi pelepasan hidrogen)

SEKILAS TENTANG FERMENTASI

- Penamaan enzim menurut International Union of Biochemistry and Molecular Biology (IUBMB) dilakukan dilakukan dengan memberikan awalan EC, berasal dari singkatan Enzyme Commitee, lalu diikuti oleh 4 digit angka yang berturut-turut menunjukkan kelas, subkelas, sub-subkelas, dan nomor individual pengenal masing-masing enzim.

  1) Digit pertama menunjukkan kelas enzim.

  2) Digit kedua dan ketiga menggambarkan jenis reaksi yang dikatalisis

  3) digit keempat menunjukkan jenis substrat sebenarnya dari reaksi yang dikatalisis

Contoh :

Nama: heksokinase

Nama sistematik: ATP:D-hexose 6-phosphotransferase

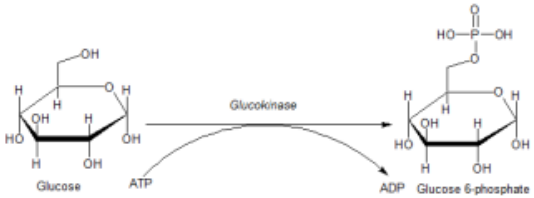
Kode enzim: EC.2.7.1.1

Enzim yang dimaksud heksokinase

Transfer fosfat

Transferase

Reaksi yang dikatalisis:



Gambar 11.1. Hidrolisis glukosa oleh enzim transfera

- **Klasifikasi internasional enzim: nomer kode, nama kelas dan reaksi yang dikatalisis (Liu et al., 2013):**

1st Digit (Class)	2nd Digit	3rd Digit
1. Oxidoreductases Transfer of hydrogen or oxygen atoms or electrons from one substrate to another: oxidases or dehydrogenases	Donor of hydrogen or electron 1 Alcohol 2 Aldehyde or ketone 3 Alkene, –CH=CH– 4 Primary amine: $CH–NH_2$ 5 Secondary amine: CH–NH– 6 NADH or NADPH 7 Nitrogenous compound 8 Sulfur group 9 Heme group 10 Diphenols or related 11 Peroxide 12 Hydrogen 13 Single donor with O_2 14 Paired donors, with O_2 15 Acting on superoxide 16 Oxidizing metal ion 17 Acting on CH or CH_2 groups 18 Iron–sulfur–protein 19 Reduced flavodoxin 20 Phosphorous or arsenic 21 on XH and YH to form XY 97 Oxidoreductases 98 Other, using H_2 as reductant 99 Other, using O_2 as oxidant	Acceptor of hydrogen or electron 1 NAD^+ or $NADP^+$ or peroxidase 2 Cytochrome or heme protein 3 O_2 4 S–S 5 Quinone or similar 6 Nitrogenous group 7 Iron–sulfur–protein 8 Flavin 11 Incorporating two O 12 Incorporating one O 98 Other, known 99 Other

1st Digit (Class)	2nd Digit	3rd Digit
2. Transferases Group transfer excluding hydrogen or oxygen: $AX + B \rightarrow BX + A$	General type of group 1 1-Carbon group 2 Aldehyde or ketone 3 Acyl group–COR 4 Glycosyl group 5 Alkyl or aryl, other than methyl 6 Nitrogenous groups 7 Phosphate group 8 Sulfur-containing groups 9 Selenium-containing groups	Nature of group transferred
3. Hydrolases Catalyzes hydrolysis: $A–X + H_2O \rightarrow X–OH + HA$	Type of bond hydrolyzed 1 Ester 2 Glycosylases 3 Ether 4 Peptide 5 C–N bonds other than peptides 6 Acid anhydrides 7 C–C 8 Halide 9 Phosphorus–nitrogen 10 S–N 11 C–phosphorus 12 S–S 13 S–S	

1st Digit (Class)	2nd Digit	3rd Digit
4. Lyases Nonhydrolytic removal of groups with product usually contains double bond	Type of bond broken 1 C–C 2 C–O 3 C–N 4 C–S 5 C-halide 6 P–O 99 Other	Group removed 1 Carboxyl 2 Aldehyde 3 Ketoacid
5. Isomerases	Type of reaction 1 Racemizationor epimerization 2 *cis–trans* isomerizations 3 Intramolecular oxidoreductases 4 Intramolecular transfer reactions 5 Intramolecular lyases 99 Other	Type of molecule 1 Amino acids 2 Hydroxyacids 3 Carbohydrates
6. Ligases Synthesis of bonds with breaking down of ATP or nucleoside triphosphates	Type of bond formed 1 C–O 2 C–S 3 C–N 4 C–C 5 Phosphoric ester 6 N-metal	

KINERJA ENZIM

BAGAIMANA ENZIM BEKERJA?

1) Enzim bekerja dengan menurunkan energi aktivasi reaksi yang dikatalisis dengan mengikat substrat dan membentuk kompleks enzim-substrat

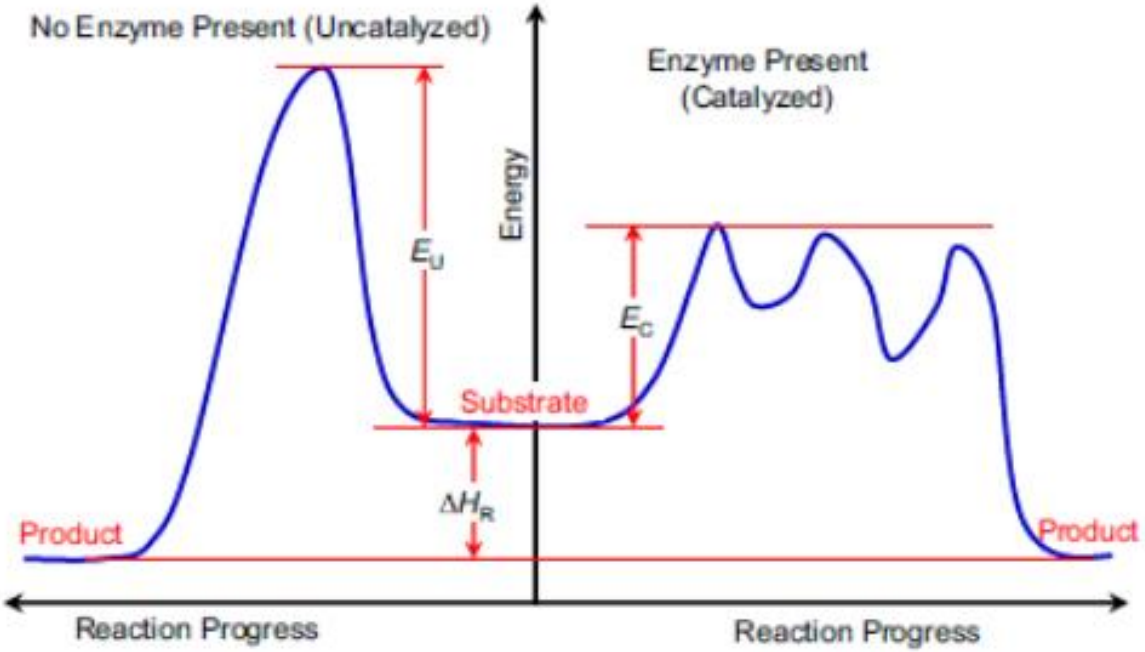
2) Enzim tidak mempengaruhi perubahan energi bebas atau konstanta kesetimbangan.

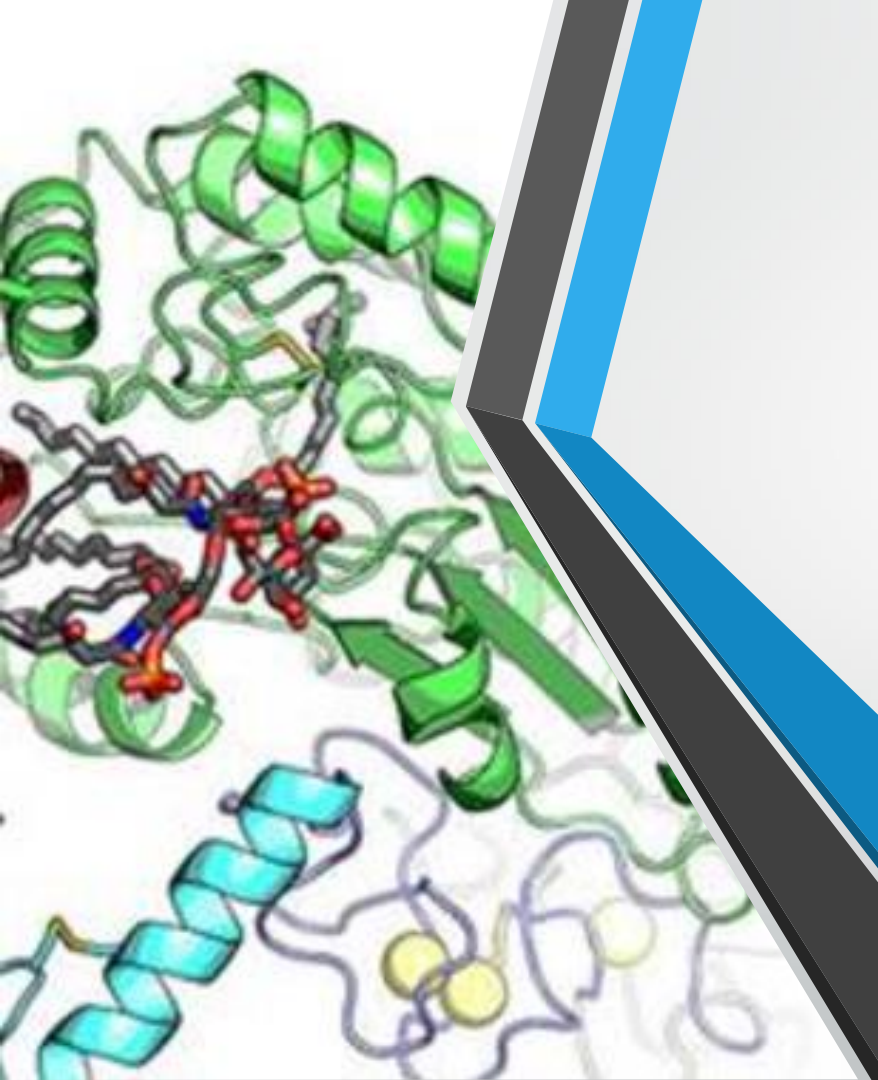
Contoh, energi aktivasi untuk penguraian hidrogen peroksida bervariasi tergantung dari jenis katalisnya. Energi aktivasi E dari reaksi tanpa katalis pada 20oC adalah 75 kJ/mol, sedangkan nilai E yang dikatalisis dengan katalis kimia (dengan koloid platinum) adalah 54 kJ/mol dan yang dikatalisis secara enzimatik (katalase) adalah 29 kJ/mol. Artinya, katalase mempercepat laju reaksi dengan faktor sekitar 108 kali jika dibanding dengan reaksi yang dikatalisis dengan katalis kimia. Perlu diingat bahwa perubahan energi aktivasi yang relatif kecil dapat menghasilkan perubahan laju reaksi yang besar karena hubungan antara laju reaksi dengan energi aktivasi adalah eksponensial.

Mekanisme reaksi enzimatis dapat digambarkan sebagai berikut:

$$E + S \leftrightarrow ES \leftrightarrow EP \leftrightarrow E + P$$

Energi aktivasi dari reaksi yang dikatalisis enzim dan reaksi yang tanpa katalis

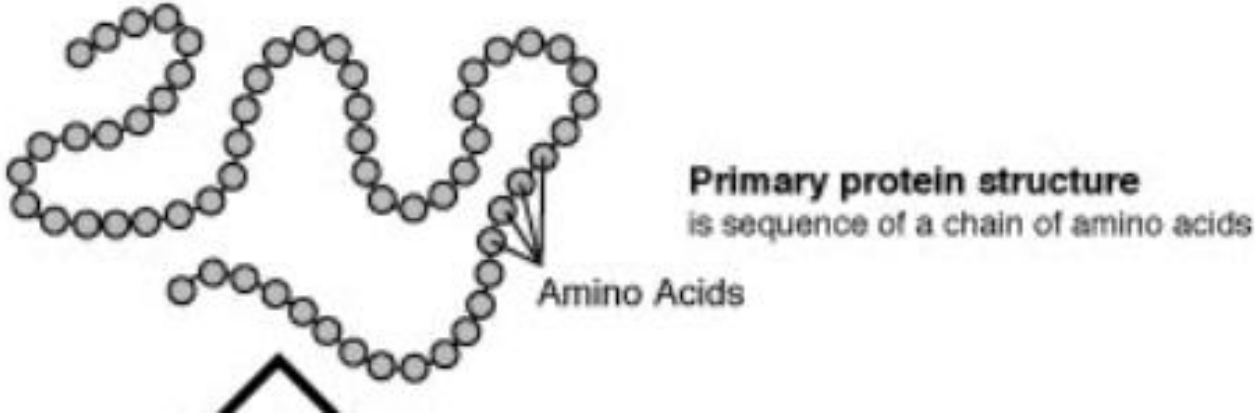




Struktur dan Bagian Enzim

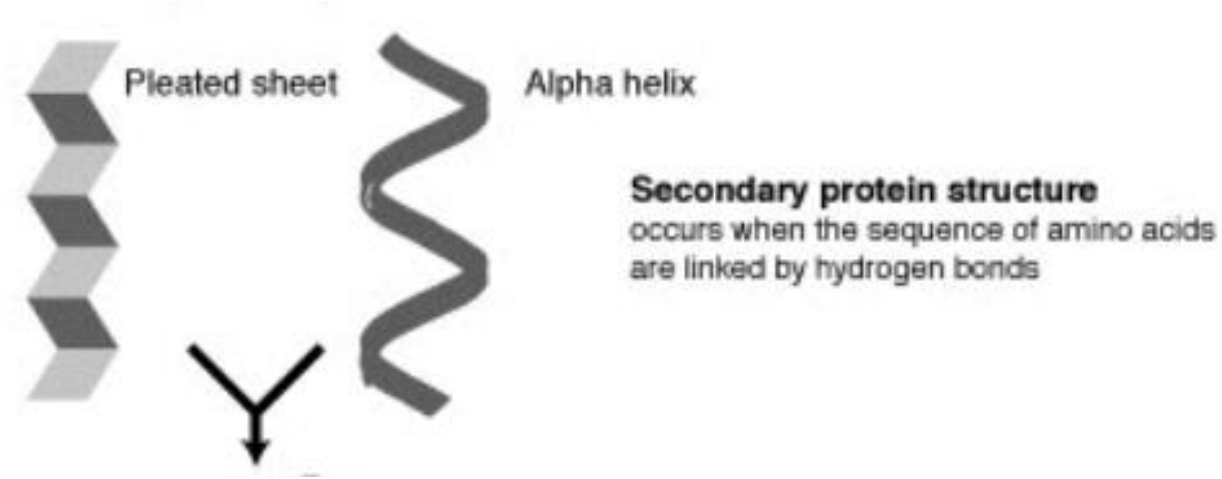
STRUKTUR PRIMER

Struktur primer merupakan struktur utama enzim yang terdiri dari α-asam amino yang dihubungkan bersama melalui ikatan amida (peptida) membentuk rantai polipeptida



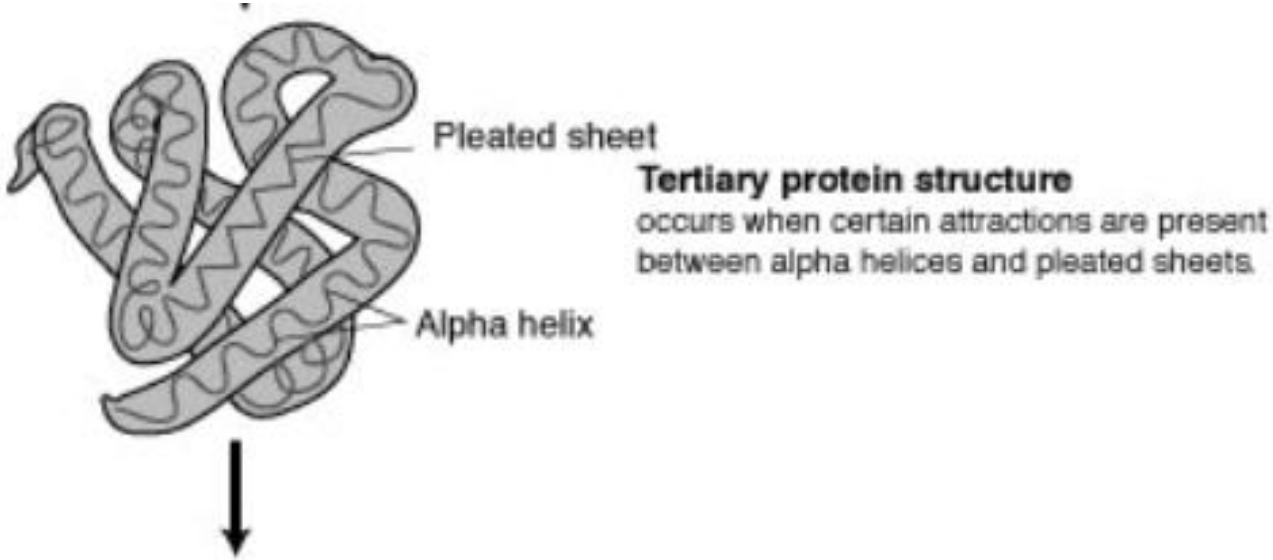
STRUKTUR SEKUNDER

Struktur sekunder protein menggambarkan struktur rantai polipeptida lokal teratur dalam rantai utama, contohnya adalah struktur heliks alfa atau lembaran beta



STRUKTUR TERSIER

Struktur Protein Tersier adalah struktur tiga dimensi yang dibentuk dari struktur-struktur sekunder yang melipat bersama



STRUKTUR QUARTENER

Struktur kuartener protein merupakan gabungan dari satu atau lebih rantai polipeptida yang beroperasi sebagai satu satuan.

Quaternary protein structure
is a protein consisting of more than one amino acid chain.

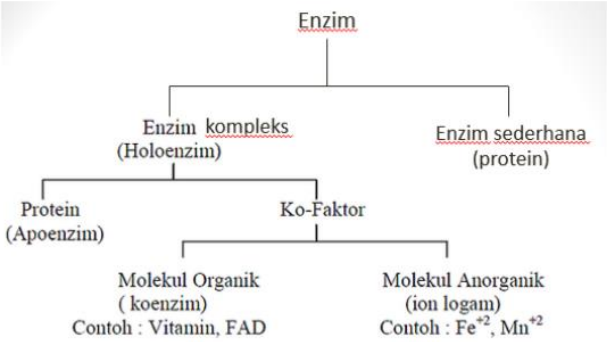
Struktur dan Bagian Enzim

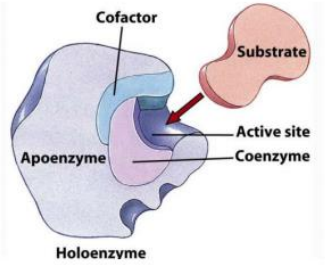
- **1. Apoenzim**
- Apoenzim merupakan bagian protein dari enzim yang bertindak sebagai tempat melekatnya substrat. Apoenzim juga bersifat thermolabil (peka terhadap suhu tinggi), dan berfungsi menentukan kekhususan dari enzim.

- **2. Kofaktor**
- Sifat kofaktor pada enzim dapat mengubah-ubah bentuk sisi aktif sehingga dapat ditempeli oleh substrat tertentu. Kofaktor memiliki dua komponen utama yakni koenzim dan gugus prostetik.
- **Koenzim :** merupakan kofaktor senyawa organik yang berikatan secara non-kovalen dengan enzim. Sifat-sifat koenzim antara lain tahan panas, mengandung ribose dan fosfat, larut dalam air dan bisa bersatu dengan apoenzim untuk membentuk holoenzim.
- **Gugus Prostetik** : merupakan kofaktor senyawa organik yang berikata secara kovalen dengan enzim. Gugus prostetik dapat berupa senyawa organik tertentu, vitamin, atau ion logam.

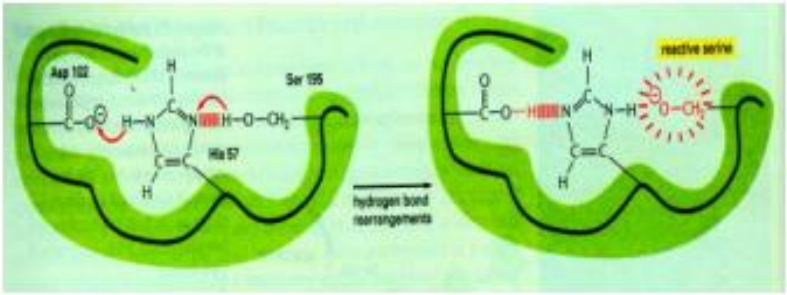
Struktur dan Bagian Enzim

- Beberapa enzim protein memerlukan gugus nonprotein yang sangat terkait dengan aktivitas enzim. Gugus nonprotein dapat berupa kofaktor yang terikat kuat oleh enzim, dikenal dengan gugus prostetik, berupa ion-ion anorganik seperti ion logam Mg_2+, Zn_2+, Mn_2+, Fe_2+ dll atau kofaktor yang tidak terikat dengan kuat, disebut dengan koenzim, seperti molekul organik kompleks, NAD, FAD, CoA, atau vitamin. Enzim yang mengandung gugus nonprotein disebut holoenzim.





a. Karakteristik Sisi Aktif Enzim



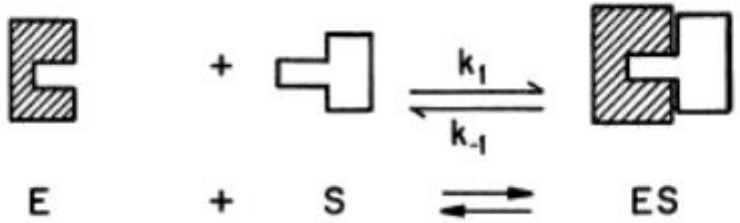
(a) (b)

Sisi aktif enzim yang menunjukkan (a) bagian yang mengikat substrat dan (b) bagian yang mengkatalisis reaksi serta asam amino yang terlibat

b) Teori yang Menjelaskan Kerja Enzim

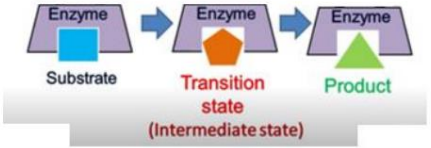
1) Teori Gembok dan Kunci

Teori Gembok dan Kunci Model paling sederhana untuk menggambarkan interaksi ini adalah model gembok-dan-kunci, di mana enzim mewakili gembok dan substrat mewakili kunci, seperti yang ditampilkan pada Gambar



2) Teori Induced Fit Model

Model kecocokan terinduksi merupakan model interaksi enzim-substrat yang menjelaskan bahwa hanya substrat yang tepat yang mampu mendorong penyelarasan (penyesuaian) yang tepat dari situs aktif sehingga akan memungkinkan enzim untuk melakukan fungsi katalitiknya.



Gambar 11.5. Model hipotetik *induced fit*

Karakteristik Penting Enzim

1) Sifat Katalitik

Enzim memiliki kemampuan katalitik yang tinggi sehingga dapat mempercepat laju reaksi hingga ribuan kali dibanding dengan reaksi tanpa katalis. Enzim tidak berubah setelah reaksi selesai. Enzim meningkatkan laju reaksi tanpa merubah letak kesetimbangan kimianya.

2) Spesifisitas

Kerja enzim sangat spesifik. Enzim tertentu hanya dapat bekerja pada substrat tertentu saja. Spesifitas enzim dapat terjadi didasarkan pada hal-hal sebagai berikut :

A. Spesifisitas ikatan
B. Spesifitsitas Gugus
C. Spesifitas Substrat
D. Spesifisitas Optik
E. Spesifisitas ko-Faktor
F. Kekhususan Gemoetris

3) Reversibilitas

Sebagian besar reaksi yang dikatalisis enzim bersifat reversibel. Reversibilitas reaksi tergantung pada kebutuhan sel. Dalam beberapa kasus terdapat enzim yang bekerja secara terpisah untuk reaksi maju dan mundur. Terdapat juga beberapa reaksi yang dikatalisis enzim bersifat tidak reversible

4) Sensitivitas Terhadap Panas, Suhu, dan pH

Enzim sangat sensitif terhadap panas dan suhu atau bersifat termolabil. Enzim tidak aktif pada suhu yang sangat rendah. Aktivitas enzim meningkat dengan kenaikan suhu hingga tingkat tertentu. Umumnya pada suhu yang tinggi (> 60oC), enzim akan rusak atau terdenaturasi. Stabilitas enzim juga dipengaruhi oleh pH.

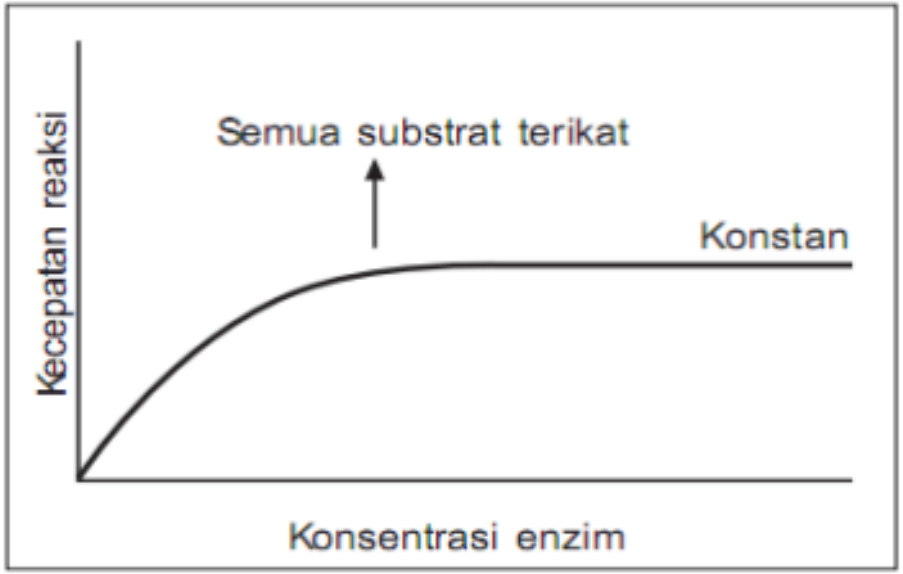
5) Kemampuan Mengatur

Di dalam sel, aktifitas enzim dapat dikontrol sesuai dengan kebutuhan organisme itu sendiri. Pengaturan aktifitas enzim dapat terjadi dengan adanya activator atau inhibitor yang terdapat pada enzim alosterik. Contoh: enzim yg mengkatalisis reaksi pertama pada suatu siklus biosintesis biasanya dihambat oleh produk akhirnya (feedback inhibition).

Faktor-Faktor Berpengaruh Terhadap Aktivitas Enzim

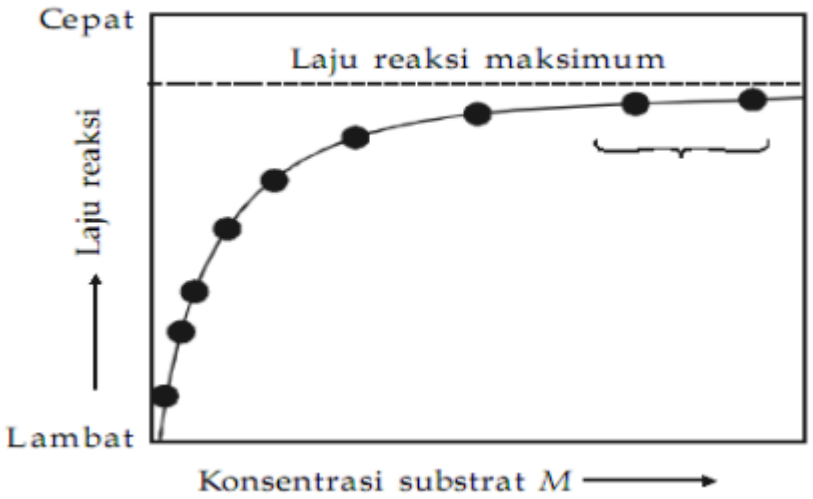
- **Konsentrasi Enzim**

- Secara umum penambahan jumlah enzim akan meningkatkan laju reaksi. Jika jumlah enzim telah melebihi jumlah maksimum yang dibutuhkan untuk bereaksi dengan substrat maka penambahan enzim tidak lagi akan meningkatkan laju reaksi



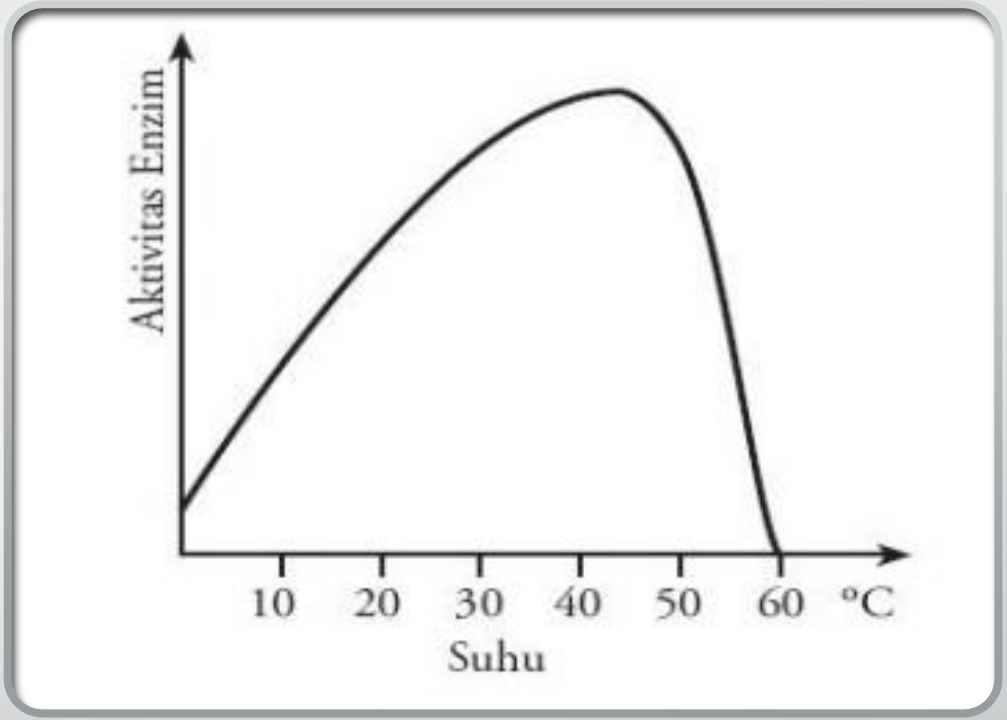
2) Konsentrasi Substrat

Pada konsentrasi substrat yang rendah, sisi aktif enzim belum terisi sepenuhnya oleh substrat, oleh karena itu peningkatan konsentrasi substrat akan meningkatkan laju reaksi. Laju reaksi maksimum tercapai jika sisi aktif enzim sudah terisi semuanya oleh substrat. Pada keadaan ini peningkatan konsentrasi substrat tidak lagi meningkatkan laju reaksi



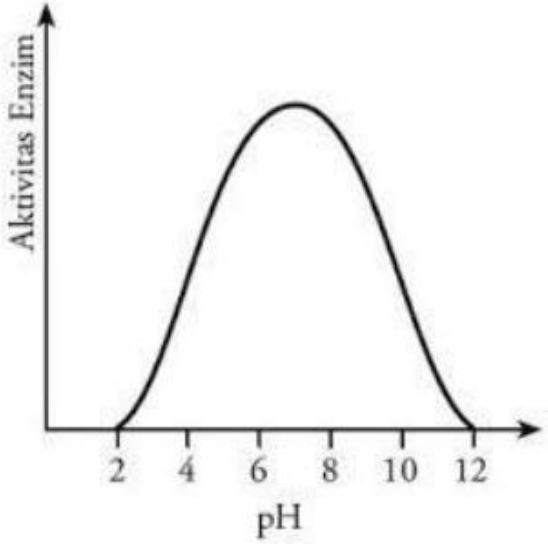
- **3) Suhu**

Seperti kebanyakan reaksi kimia, laju reaksi yang dikatalisis enzim meningkat seiring dengan kenaikkan suhu. Kenaikan suhu 10oC akan meningkat aktivitas sebagian besar enzim sebesar 50 hingga 100%. Perubahan suhu reaksi sebesar 1oC atau 2oC dapat menyebabkan perubahan 10 hingga 20% aktivitas enzim. Enzim bekerja baik pada suhu optimum. Pada umumnya suhu optimum untuk kerja enzim antara 30-40oC, dengan pengecualian beberapa enzim. Namun perlu diingat pada suhu yang tinggi enzim dapat rusak terdenaturasi. Sebagian enzim dengan cepat terdenaturasi pada suhu di atas 40°C.



4) pH

Sebagian besar laju reaksi enzimatis dipengaruhi oleh konsentrasi H+ . Seperti halnya suhu, enzim akan bekerja optimum pada kondisi pH tertentu. pH optimal kebanyakan enzim berada pada rentang 6-8. Namun terdapat beberapa pengecualian, sebagai contoh, enzim pepsin bekerja optimum pada pH 2 di lambung untuk memecah protein menjadi pepton. Adakalanya perubahan pH menyebabkan reaksi sebaliknya, misal pada pH 7,0 fosforilase memecah pati menjadi glukosa 1-fosfat sedangkan pada pH 5 terjadi reaksi sebaliknya.



5) Adanya Inhibitor / Aktifator

Kerja enzim dapat dihambat oleh senyawa inhibitor. Inhibitor enzim dapat mengubah kerja katalitik enzim yang dapat memperlambat, ataupun menghentikan katalisis. Secara umum penghambatan enzim terdiri dari kompetitif, non-kompetitif dan un-kompetitif. Pada beberapa reaksi enzimatis akumulasi produk dapat menurunkan laju reaksi enzim. Jika reaksi dihambat oleh produk maka penghilangan produk dari sistem reaksi dapat meningkatkan laju reaksi. Sebaliknya laju reaksi dapat ditingkatkan oleh senyawa aktifator. Beberapa jenis ion logam dan vitamin dapat bertindak sebagai aktivator.

- **LATIHAN SOAL**

1) Jelaskan mekanisme kerja enzim dalam mempercepat jalannya reaksi.!

2) Jelaskan karakteristik-karakteristik penting dari enzim!

3) Jelaskan teori yang menjelaskan interaksi antara enzim dan substrat

TERIMA KASIH