

# Klasifikasi Enzim

**Oxidoreductase** mengkatalisis reaksi reduksi-oksidasi

**Transferase** memindah gugus fungsional

**Hydrolase** menyebabkan reaksi hidrolisis

**Lyase** pengurangan gugus untuk membentuk ikatan rangkap, ikatan C-O, C-C atau C-N

**Isomerases** penyusunan kembali gugus fungsional, isomerisasi

**Ligase** pembentukan ikatan yang berpasangan dengan hidrolisis ATP, penggabungan 2 molekul

# Rangkuman Kelompok dan Sub Kelompok Utama Enzim

<p style="text-align: center;"><b>Oksidoreduktase</b></p> <p>Dehidrogenase Oksidase Reduktase Peroksidase Katalase Oksigenase Hidroksilase</p>	<p style="text-align: center;"><b>Hidrolase</b></p> <p>Esterase Glikosidase Peptidase Fosfatase Tiolase Fosfolipase Amidase Deaminase Ribonuklease</p>	<p style="text-align: center;"><b>Isomerase</b></p> <p>Rasemase Epimerase Isomerase Mutase (tidak semua)</p>
<p style="text-align: center;"><b>Transferase</b></p> <p>Transaldolase dan transketolase Asil, metil, glukosil dan fosforiltransferase Kinase Fosfomutase</p>	<p style="text-align: center;"><b>Ligase</b></p> <p>Sintetase Karboksilase</p>	<p style="text-align: center;"><b>Liase</b></p> <p>Dekarboksilase Aldolase Hidratase Dehidratase Sintase Liase</p>

Klasse	Reaktionstyp	wichtige Unterklassen
1 Oxidoreduktasen	<p>○ = Reduktionsäquivalent</p> <p>A<sub>red</sub> + B<sub>ox</sub> ⇌ A<sub>ox</sub> + B<sub>red</sub></p>	Dehydrogenasen Oxidasen, Peroxidasen Reduktasen Monooxygenasen, Dioxygenasen
2 Transferasen	<p>A-B + C ⇌ A + B-C</p>	C <sub>1</sub> -Transferasen Glycosyl-Transferasen Aminotransferasen Phosphotransferasen
3 Hydrolasen	<p>A-B + H<sub>2</sub>O ⇌ A-H + B-OH</p>	Esterasen Glycosidasen Peptidasen Amidasen
4 Lyasen („Synthasen“)	<p>A + B ⇌ A-B</p>	C-C-Lyasen C-O-Lyasen C-N-Lyasen C-S-Lyasen
5 Isomerasen	<p>A ⇌ Iso-A</p>	Epimerasen <i>cis-trans</i> -Isomerasen Intramolekulare Trans- ferasen
6 Ligasen („Synthetasen“)	<p>A + B + XTP ⇌ A-B + XDP + P</p> <p>X = A, G, U, C</p>	C-C-Ligasen C-O-Ligasen C-N-Ligasen C-S-Ligasen

# Klassifikasi enzim


- Perkembangan nama enzim
  1. pada awal enzim dikenal, enzim hanya mengatalisis reaksi hidrolisis ikatan kovalen saja  
nama enzim: substrat yang dikatalisis + ase
    - lipase → mengatalisis hidrolisis lemak
    - amilase → mengatalisis hidrolisis amilum
    - protease → mengatalisis hidrolisis protein

lanjutan

## 2. Menekankan tipe reaksi yang dikatalisisnya

Contoh:

- enzim de-hidrogenase: mengatalisis reaksi pelepasan hidrogen
- enzim transferase: mengatalisis reaksi pemindahan gugus  $\longrightarrow$  sehingga makin banyak enzim yang ditemukan  $\longrightarrow$  ketidak jelasan semakin tampak

- Untuk mengatasi 
- 3. **International Union of Biochemistry (IUB):** membagi enzim atas dasar mekanisme reaksi dengan kerangka sistem
  - a. Enzim dibagi menjadi 6 kelas yang urutan kelasnya tidak boleh diubah-ubah dengan masing-masing kelas mempunyai 4 – 13 subkelas
  - b. Nama enzim terdiri dari 2 bagian
    - pertama: mengkatalisis substratnya
    - kedua: berakhir dengan akhiran –ase, menyatakan tipe reaksi yang dikatalisis

Lanjutan

c. Informasi tambahan diperlukan untuk menjelaskan reaksi dapat ditulis dlm tanda kurung dibagian akhir

Contoh:




Nama Enzim: 1.1.1.37: (L-malat :NAD<sup>+</sup> oksido – reduktase), mengatalisis proses dekarboksilasi

Lanjutan

- d. Setiap enzim memp. kode enzim (EC): terdiri dari 4 digit:- Digit pertama: kelas enzim
- Digit kedua: sub kelas
  - Digit ketiga: sub-sub kelas
  - Digit keempat: untuk enzim spesifik

Jika enzim dengan EC: 2.7.1.1 

maka enzim tsb kelas transferase untuk menstransfer fosfat dengan alkohol sbg aseptor fosfat: heksokinase atau ATP:D-heksosa 6 fosfotransferase  enzim yang mengatalisis pemindahan gugus fosfat dr ATP ke gugus hidroksil atom karbon dari molekul glukosa



# Klassifikasi enzim men. IUB

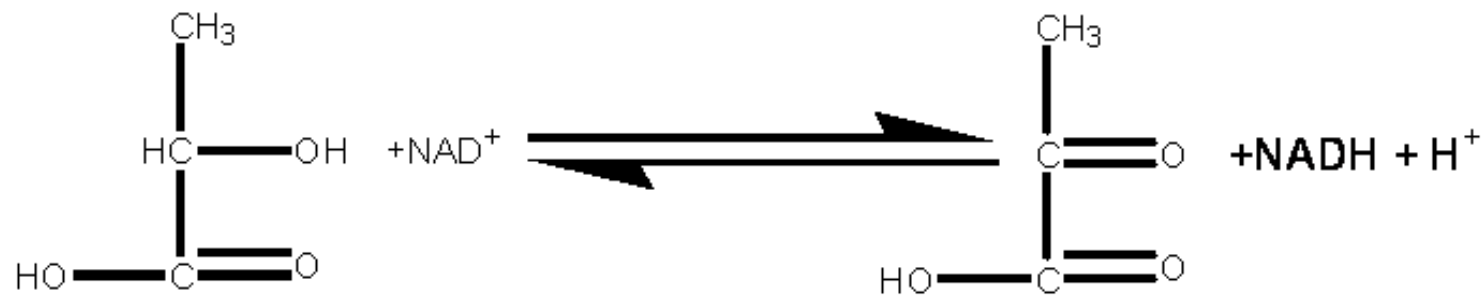
1. Oksidoreduktase: mengatalisis reaksi oksidasi dan reduksi (pemindahan elektron atau ion hidrida atau ato H)
2. Transferase: mengatalisis reaksi pemindahan gugus dari suatu molekul donor ke molekul aseptor (-metil, -glikosil)
3. Hidrolase; mengkalis reaksi pemecahan hidrolistik C-C, C-O, C-N, P-O, ikatan lain tertentu termasuk ikatan asam anhidrida (reaksi hidrolisis: transfer gugus fungsional ke air)

Lanjutan

4. Liase: mengkatalisis pemecahan C-C, C-O, C-N, dan ikatan lain dng eliminasi yang menghasilkan ikatan rangkap dan juga penambahan gugus pd ikatan rangkap
5. Isomerase: mengkatalisis pemindahan geometrik atau struktural dalam suatu molekul tunggal (pemindahan gugus dalam molekul untuk menghasilkan bentuk-bentuk isomer)
6. mengkatalisis penggabungan bersama 2 molekul (pembentukan ikatan C-C, C-O, C-S, C-N oleh pasangan reaksi kondensasi ke pemecahan ATP)

# Oksidoreduktase

- ⊕ Mengkatalisis reaksi oksidasi-reduksi
- ⊕ Contoh : alkohol + NAD<sup>+</sup> oksidoreduktase (dehidrogenase, alkohol dehidrogenase)  
mengkatalisis oksidasi alkohol menjadi aldehyd

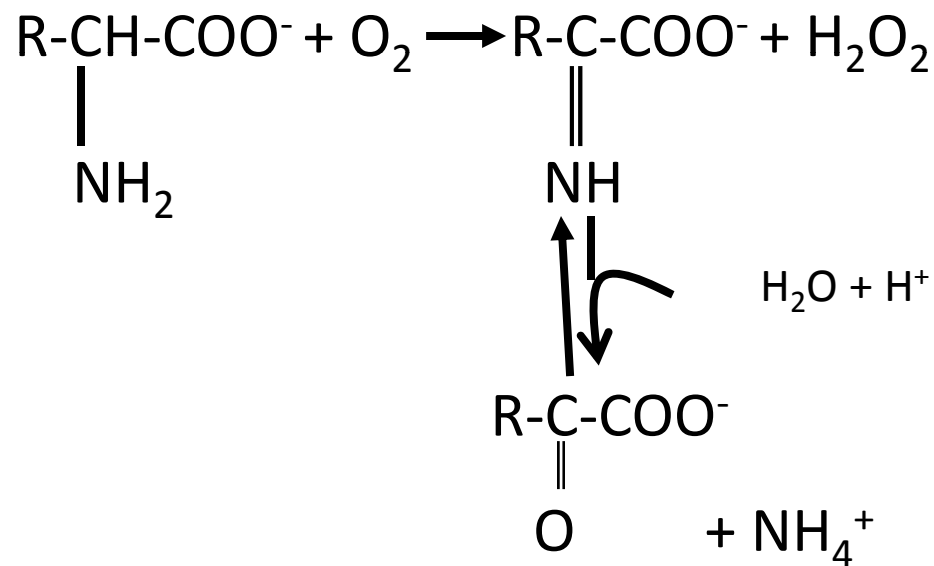


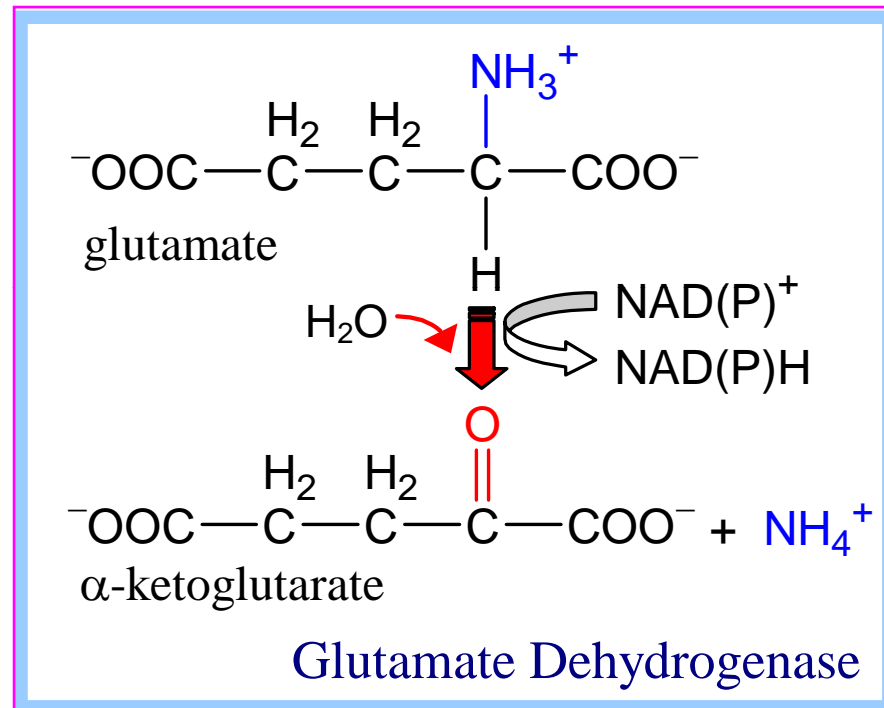
- ⊕ 2 elektron dan 2 atom hidrogen dipindahkan dari alkohol untuk menghasilkan aldehid.
- ⊕ 2 elektron pada ikatan karbon-hidrogen alkohol dipindah ke NAD<sup>+</sup>, yang mengalami reduksi.
- ⊕ NAD merupakan kofaktor yang menjembatani berbagai reaksi oksidasi reduksi.

⊕ Selain gugus fungsional alkohol dan aldehid, dehidrogenase juga bekerja pada gugus fungsional berikut sebagai donor elektron : -  
CH<sub>2</sub>-CH<sub>2</sub>-, -CH<sub>2</sub>-NH<sub>2</sub> dan -CH=NH, sebaik koenzim NADH, NADPH, FADH, dan FMNH

- ⊕ Terdapat sub kelas dari oksidoreduktase, yaitu oksidase yang memindah 2 elektron dari donor ke oksigen menghasilkan hidrogen peroksida ( $H_2O_2$ ).
- ⊕ Biasanya aliran elektron dari substrat ke produk dijumpai oleh koenzim flavin atau logam.

- Sebagai contoh, D-asam amino oksidase mengkatalisis reaksi :







- ⊕ Sitokrom oksidase merupakan salah satu dari sedikit enzim yang lebih banyak menghasilkan  $H_2O$  daripada  $H_2O_2$  dari reduksi oksigen.
- ⊕ Oksigenase mengkatalisis penggabungan oksigen ke dalam substrat.

- ⊕ Dengan dioksidase kedua atom  $O_2$  digabungkan ke dalam produk tunggal
- ⊕ Dengan monooksigenase, atom oksigen tunggal digabungkan sebagai gugus hidroksil dan atom oksigen lain direduksi menjadi air oleh elektron dari substrat atau dari substrat kedua yang tidak mengalami oksidasi.

- ⊕ Catechol oksigenase mengkatalisis reaksi deoksigenase
- ⊕ Steroid hidrosilase menunjukkan suatu reaksi monooksigenase di mana satu atom oksigen menjadi air dan lainnya menjadi steroid.
- ⊕ Peroksidase lebih membutuhkan  $H_2O_2$  dibanding oksigen sebagai oksidan.
- ⊕ NADH peroksidase mengkatalisis reaksi :  
$$NADH + H^+ + H_2O_2 \rightleftharpoons NAD^+ + 2H_2O$$

- ⊕ Katalase adalah enzim yang unik karena  $\text{H}_2\text{O}_2$  berperan sebagai donor maupun aseptor.
- ⊕ Fungsi katalase di dalam sel untuk detoksifikasi  $\text{H}_2\text{O}_2$ .



# Transferase

- ✿ Enzim ini berfungsi untuk memindahkan gugus fungsional antara donor dan aseptor
- ✿ Gugus amino, asil, fosfat, satu karbon dan glikosil merupakan separo bagian yang dipindahkan
- ✿ Aminotransferase (transaminase) memindahkan gugus amino dari satu asam amino ke asam  $\alpha$  keto penerima, menghasilkan pembentukan asam amino baru dan asam keto baru.

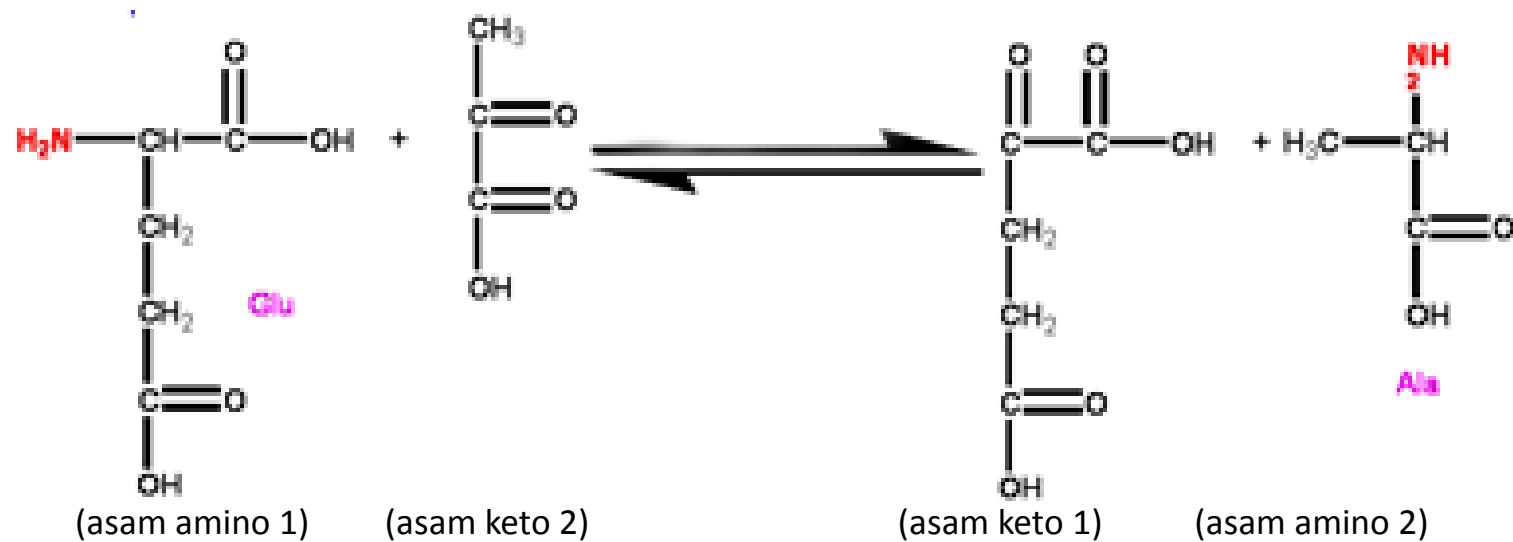
- ⊕ Kinase merupakan enzim yang mengkatalisis pemindahan gugus  $\gamma$  fosforil yang secara kimiawi labil dari ATP atau nukleosida trifosfat yang lain ke alkohol atau gugus amino penerima.
- ⊕ Penerima ini dapat berupa molekul organik kecil seperti glukosa atau makromolekul, seperti protein.

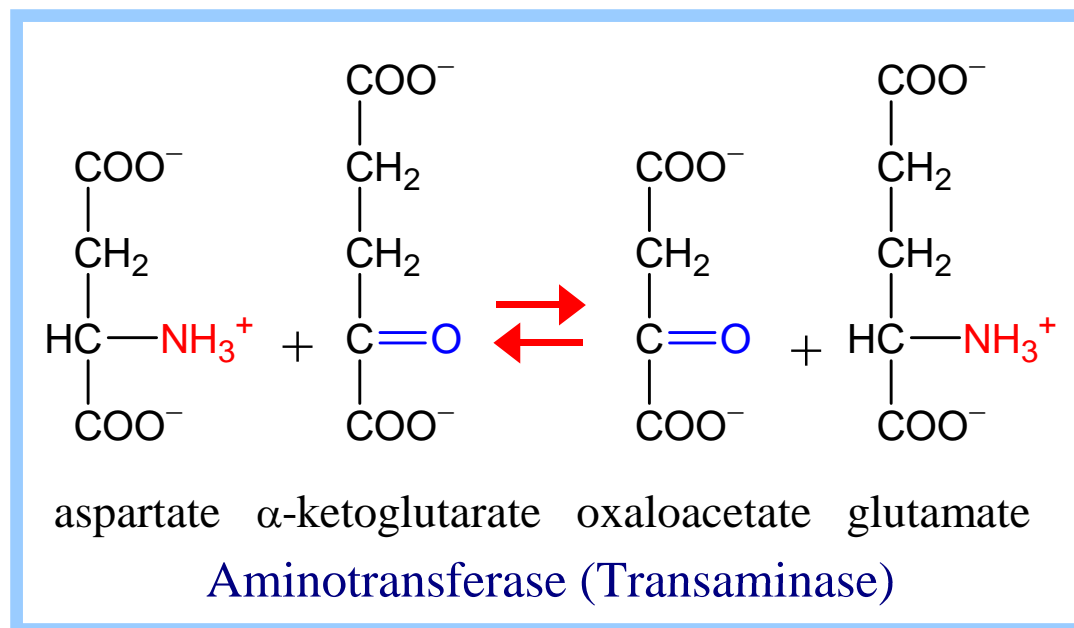
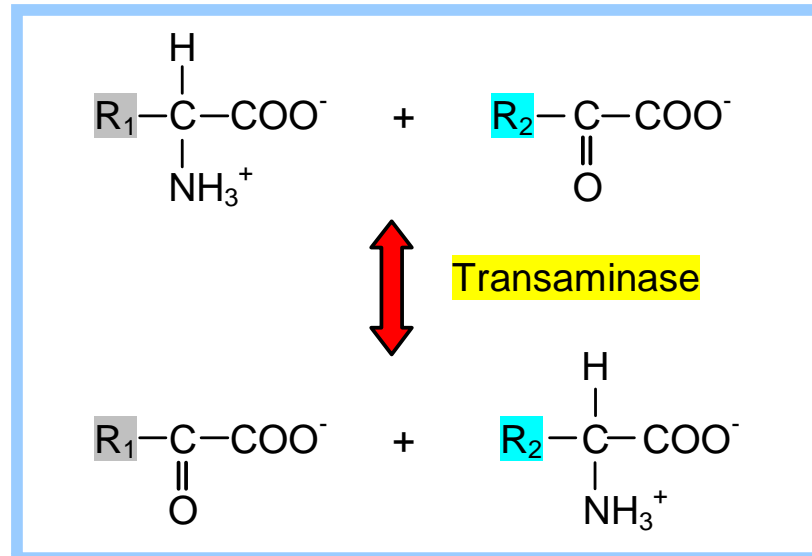
- ⊕ Sebagai contoh, protein kinase A, memindahkan fosfat dari ATP ke hidroksil serin suatu enzim tertentu.
- ⊕ Bentuk terfosforilasi protein bisa lebih atau kurang aktif dibandingkan yang tidak terfosforilasi, tergantung dari spesiesnya.

- ⊕ Secara umum, gugus yang dipindahkan harus diaktifkan, sehingga secara kimiawi akan menjadi labil sebelum pemindahan dapat terjadi.
- ⊕ Biasanya diselesaikan dengan membuat ester dengan ATP, seperti berikut:  
$$\text{ATP} + \text{R-OH} \rightleftharpoons \text{R-O-ADP} + \text{P}_i$$



- Gugus R sekarang dapat ditransfer ke penerima untuk membentuk senyawa baru.

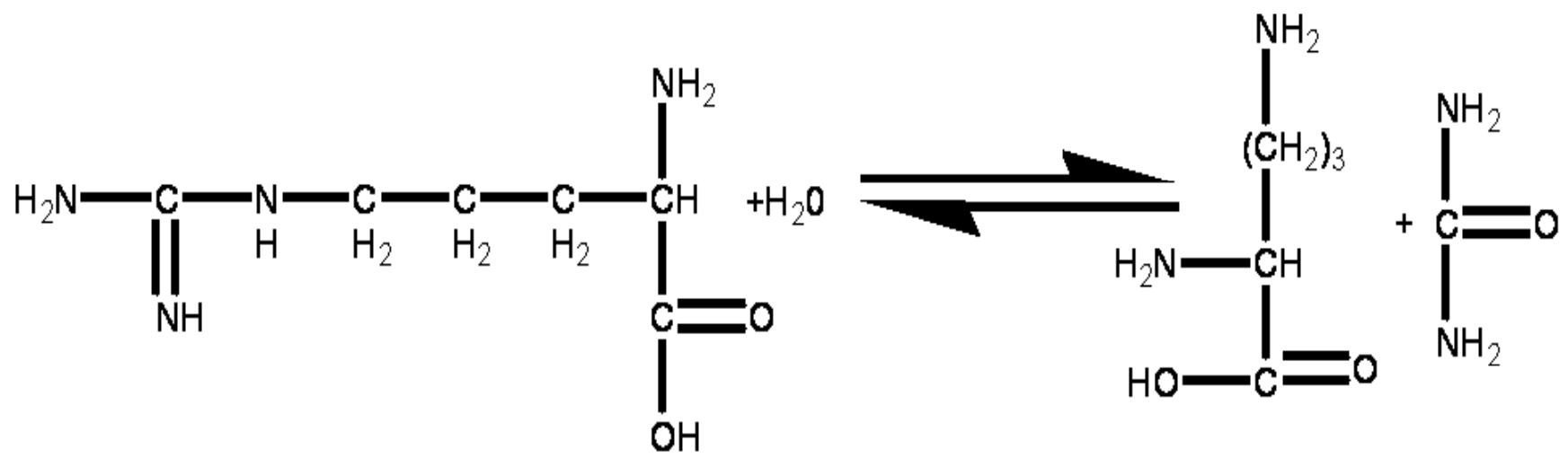


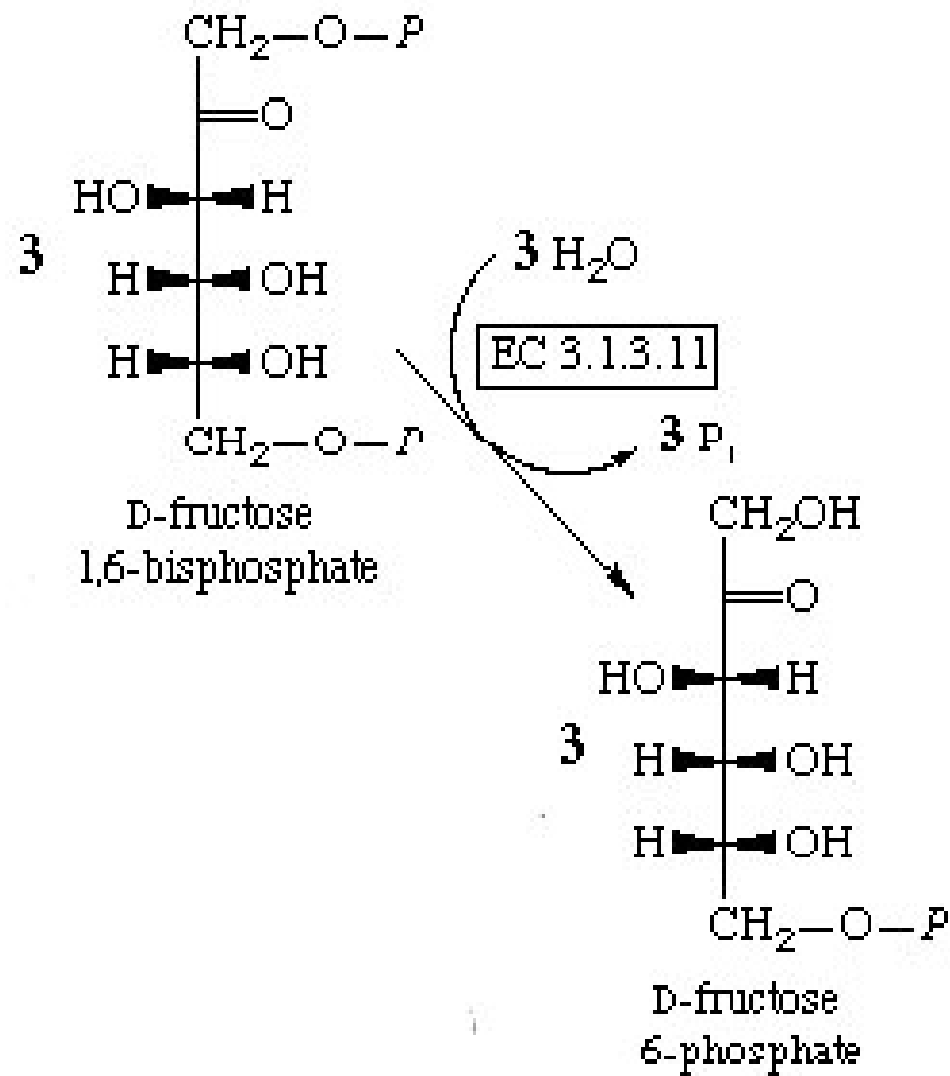


# Hidrolase

- ⊕ Kelompok enzim ini dapat dianggap sebagai kelompok khusus dari transferase dimana gugus donor dipindahkan ke air.
- ⊕ Reaksi secara umum termasuk pemutusan hidrolitik ikatan C-O, C-N, O-P, dan C-S.
- ⊕ Pemutusan ikatan peptida merupakan contoh yang bagus untuk reaksi ini.

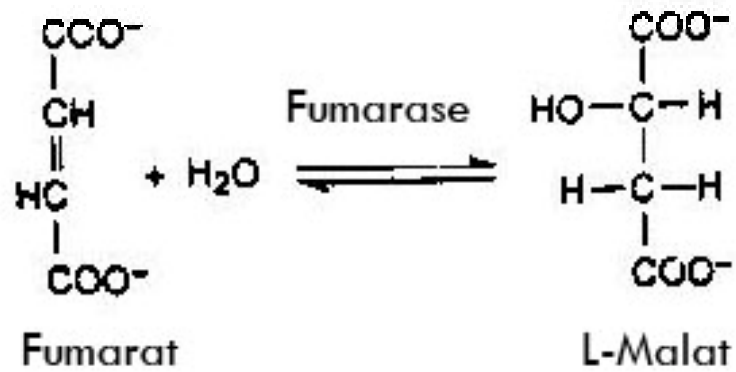
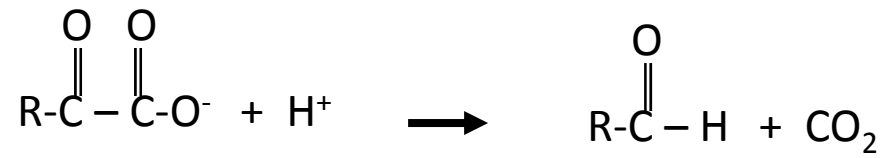
- ⊕ Enzim proteolitik merupakan kelas khusus dari hidrolase yang disebut peptidase.
- ⊕ Fosfatase merupakan enzim yang memindahkan gugus fosfat dengan gugus hidroksil dari air.
- ⊕ Pada protein fosfatase, kerjanya adalah untuk meniadakan pengaruh dari protein kinase.





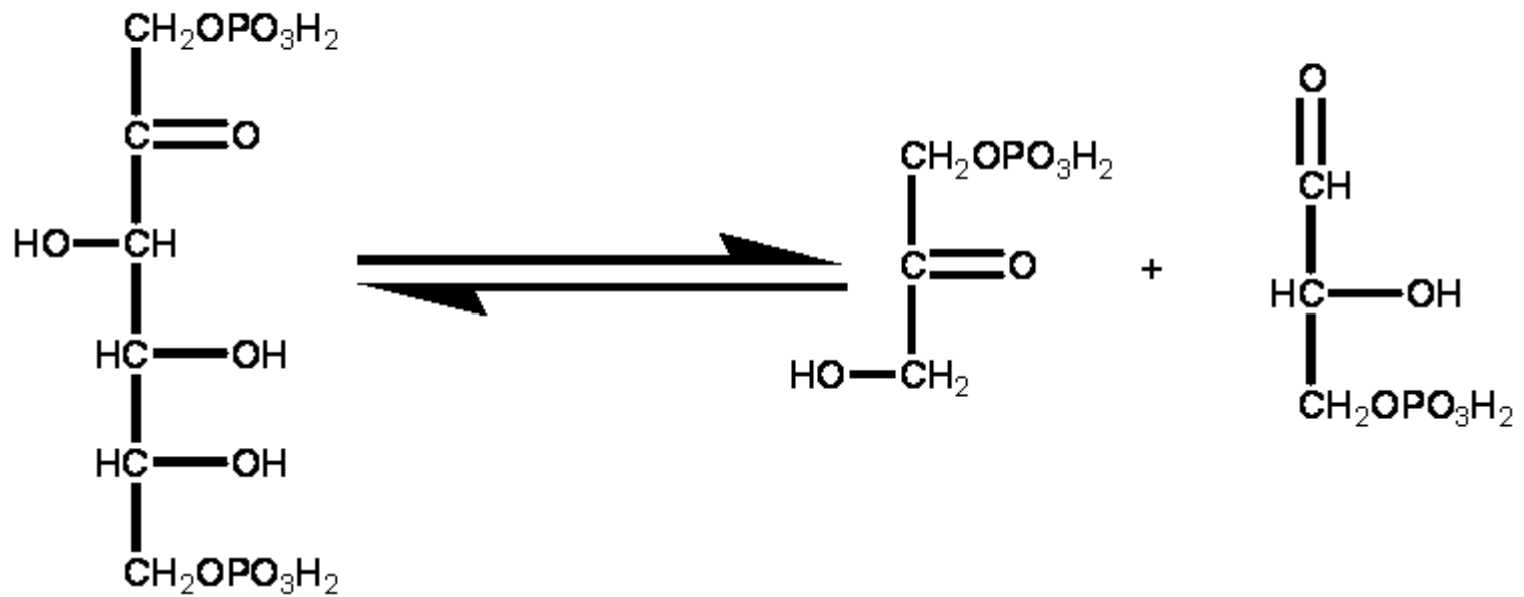
# Liase

- ⊕ Liase menambahkan atau memindahkan unsur-unsur air, ammonia, atau karbondioksida.
- ⊕ Dekarboksilase memindahkan unsur  $\text{CO}_2$  dari asam keto  $\alpha$  atau  $\beta$  atau asam amino.
- ⊕ Dehidratase memindahkan  $\text{H}_2\text{O}$  pada reaksi dehidrasi.
- ⊕ Fumarase merubah fumarat menjadi malat



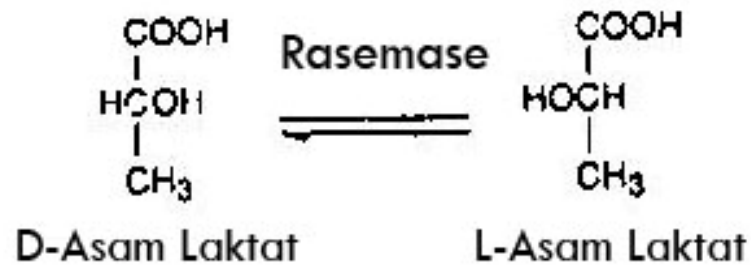
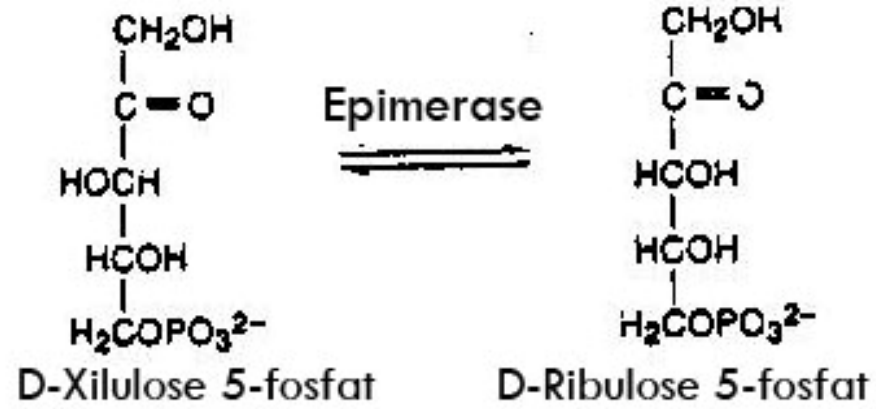
### Reaksi Fumarase





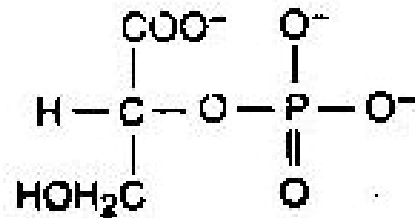
# Isomerase

- ⊕ Terdapat berbagai macam enzim yang mengkatalisis isomerisasi dari berbagai tipe.
- ⊕ Termasuk interkonversi cis-trans dan aldosa-ketosa.
- ⊕ Isomerase yang mengkatalisis inversi pada atom karbon asimetri adalah epimerase atau rasemase

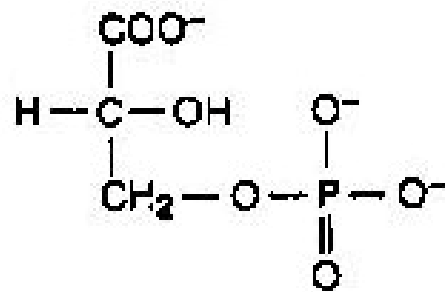


Contoh reaksi yang dikatalisis  
Epimerase dan Rasemase

- ⊕ Mutase melibatkan pemindahan intramolekuler dari suatu kelompok seperti fosforil.
- ⊕ Pemindahan ini dapat terjadi secara langsung tapi melibatkan enzim terfosforilasi sebagai perantara.
- ⊕ Fosfoglisarat mutase mengkatalisis konversi 2-fosfoglisarat menjadi 3-fosfoglisarat

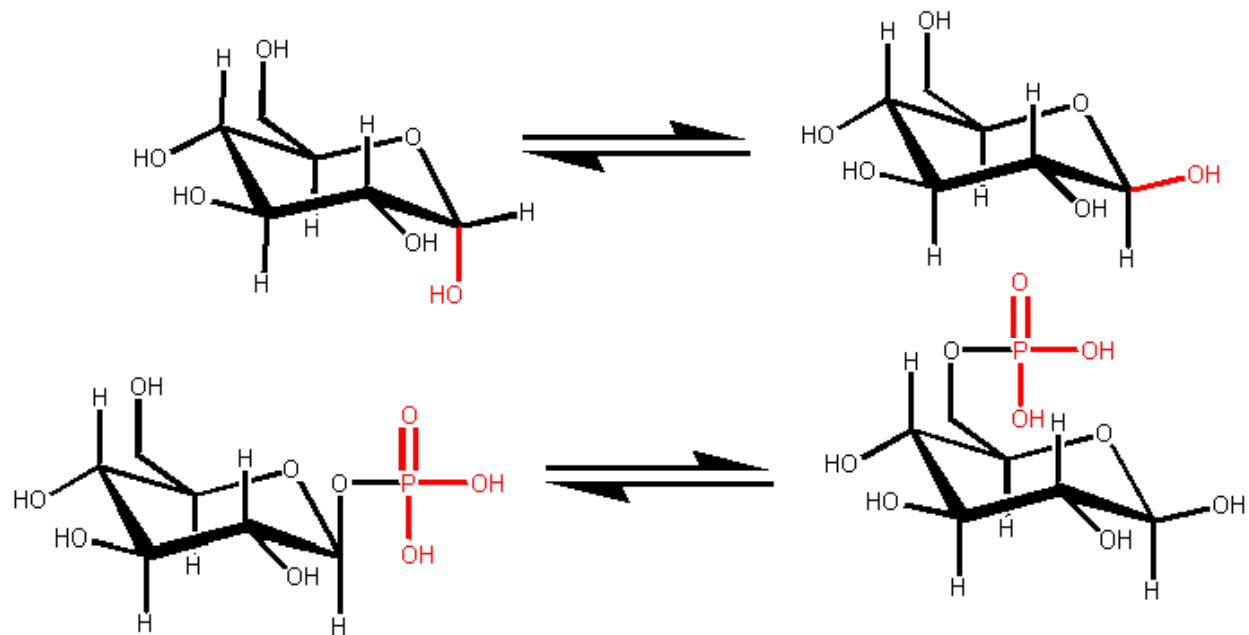


2-fosfogliserat



3-fosfogliserat

Interkonversi 2- dan 3- fosfogliserat



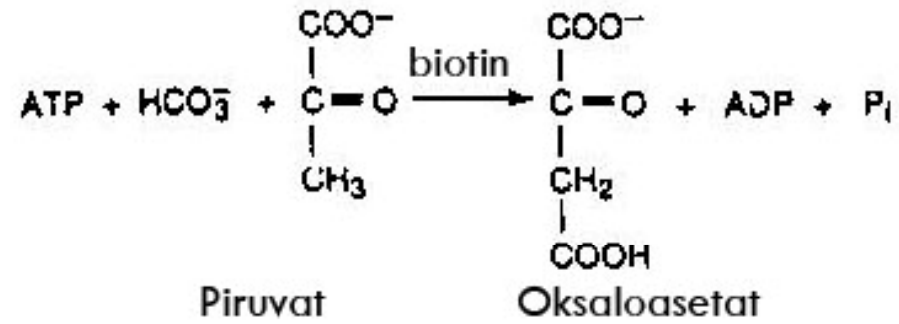
# Ligase

- ⊕ Enzim ligase berperan dalam reaksi sintesis dimana 2 molekul digabungkan dengan energi dari ikatan fosfat berenergi tinggi dari ATP.
- ⊕ Istilah sintetase digunakan untuk sebagian kelompok dari enzim ini.

⊕ Pembentukan aminoasil tRNA, asil koenzim A, dan glutamin serta penambahan CO<sub>2</sub> pada piruvat merupakan reaksi-reaksi yang dikatalisis oleh ligase



- ⊕ Piruvat karboksilase merupakan contoh yang bagus dari enzim ligase
- ⊕ Substrat bikarbonat dan piruvat diligasi atau diikat untuk membentuk asam  $\alpha$  keto 4 karbon (C4).



### Reaksi Piruvat Karboksilase

