



- Laju reaksi meningkat menjadi 2 kali laju reaksi semula pada setiap kenaikan suhu 15°C . jika pada suhu 30°C reaksi berlangsung 64 menit, maka waktu reaksi berlangsung pada suhu 90°C



- Susu dipasteurisasi pada suhu 63°C selama 30 menit, jika dipasteurisasi pada suhu 74°C hanya membutuhkan waktu 15 detik.
Hitunglah energi aktivasi pasteurisasi tsb.



$$t_1 = 30 \text{ min} \quad \text{at a} \quad T_1 = 336 \text{ K}$$

$$t_2 = 15 \text{ sec} \quad \text{at a} \quad T_2 = 347 \text{ K}$$

$$k = k_0 e^{-E/RT}$$

$$\ln \frac{r_2}{r_1} = \ln \frac{t_1}{t_2} = \frac{\mathbf{E}}{\mathbf{R}} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right)$$

$$\ln \frac{30}{0.25} = \frac{\mathbf{E}}{8.314} \left(\frac{1}{336} - \frac{1}{347} \right)$$

$$\underline{\underline{\mathbf{E} = 422\,000 \text{ J/mol}}}$$



Katalis

Shinta Rosalia Dewi



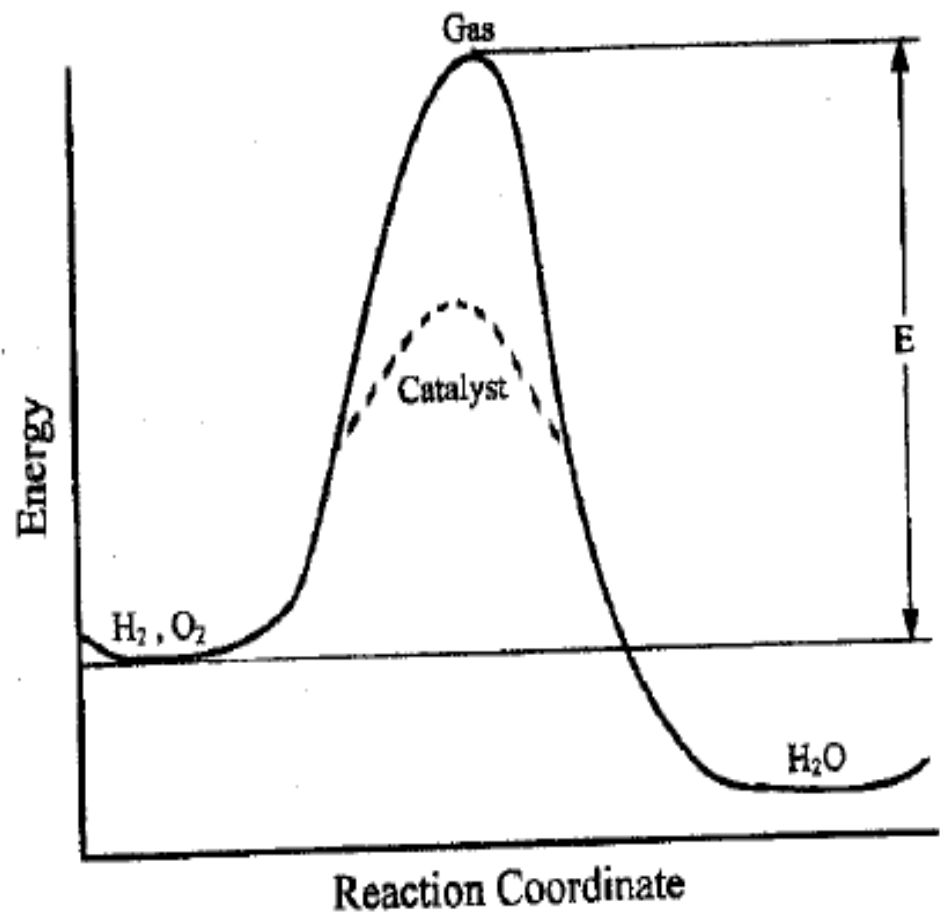
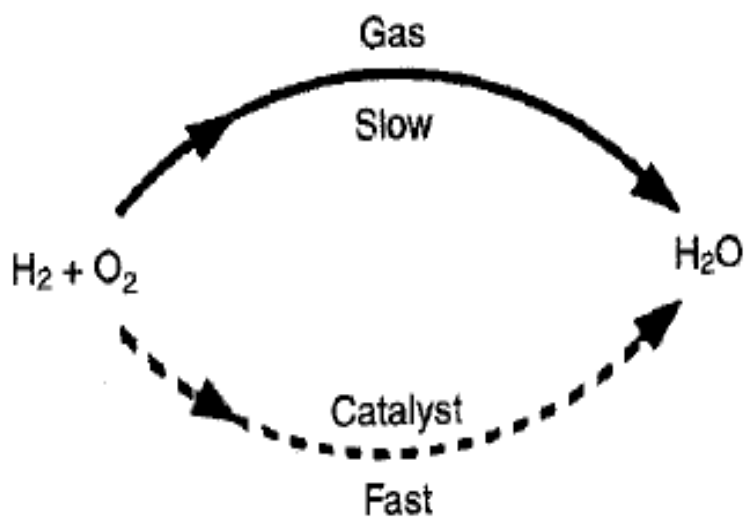
Katalis

- Katalis : zat yang dapat mempengaruhi laju reaksi (biasanya mempercepat), tanpa dikonsumsi selama reaksi berlangsung
- Katalis bekerja dengan mengubah mekanisme reaksi dan energi aktivasi sistem
- Kesetimbangan dalam sistem tetap



Katalis

- Katalis yang dipergunakan untuk mempercepat reaksi memberikan mekanisme suatu reaksi yang lebih rendah dibandingkan reaksi yang tanpa katalis.
- Dengan energi aktivasi lebih rendah menyebabkan maka lebih banyak partikel yang memiliki energi kinetik yang cukup untuk mengatasi halangan energi aktivasi sehingga jumlah tumbukan efektif akan bertambah sehingga laju meningkat.





Katalis

- Katalis homogen
- Katalis heterogen
- Katalis enzim

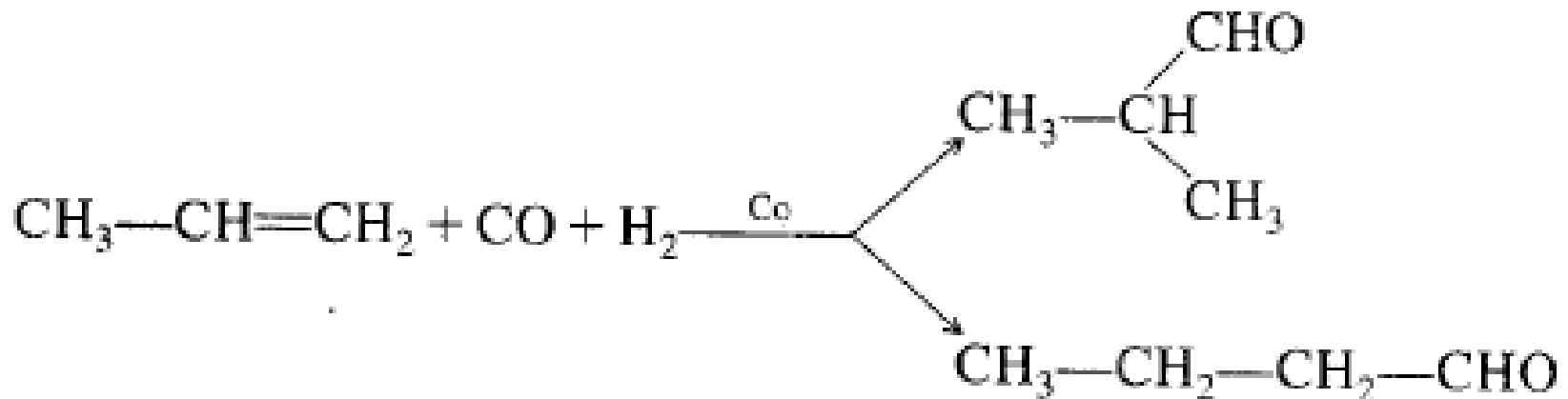


- Katalis homogen : katalis yang fasenya sama dengan fase reaktan
- Katalis heterogen : katalis yang fasenya berbeda dengan fase reaktan; biasanya melibatkan lebih dari satu fasa
- Katalis enzim : katalis yang menggunakan enzim → biokatalis



Katalis homogen

- Pada industri pembuatan isobutilaldehid, reaktan : propilen, CO, hidrogen dengan katalis larutan kobalt.





Contoh reaksi katalitik heterogen

- Industri pembuatan amoniak



katalis : Al_2O_3 , MgO , CaO , dan K_2O



Pembuatan amoniak

- Dasar teori pembuatan amonia dari nitrogen dan hydrogen ditemukan oleh Fritz Haber (1908).
- Sedangkan proses industri pembuatan amonia untuk produksi secara besar-besaran ditemukan oleh Carl Bosch.



Pembuatan amoniak

- $\text{N}_2(\text{g}) + 3\text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{NH}_3(\text{g}) \quad \Delta H = -92,4\text{Kj}$ Pada 25°C : $K_p = 6,2 \times 10^5$
- Berdasarkan prinsip kesetimbangan kondisi yang menguntungkan untuk ketuntasan reaksi ke kanan (pembentukan NH_3) adalah suhu rendah dan tekanan tinggi.



Pembuatan amoniak

- Akan tetapi, reaksi tersebut berlangsung sangat lambat pada suhu rendah, bahkan pada suhu 500°C .
- Reaksi ke kanan eksoterm, penambahan suhu akan mengurangi rendemen.
- Reaksi kekanan pada pembuatan amonia adalah reaksi eksoterm. Reaksi eksoterm lebih baik jika suhu diturunkan, tetapi jika suhu diturunkan maka reaksi berjalan sangat lambat .



Pembuatan amoniak

- Proses Haber-Bosch semula dilangsungkan pada suhu sekitar 500°C dan tekanan sekitar 150-350 atm dengan katalisator, yaitu serbuk besi dicampur dengan Al_2O_3 , MgO , CaO , dan K_2O .

Faktor	Reaksi : $\text{N}_2(\text{g}) + 3\text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{NH}_3(\text{g}) \Delta\text{H} = -924 \text{ kJ}$	Kondisi Optimum
Suhu	1. Reaksi bersifat eksoterm 2. Suhu rendah akan menggeser kesetimbangan kekanan. 3. Kendala: Reaksi berjalan lambat	400-600°C
Tekanan	1. Jumlah mol pereaksi lebih besar dibanding dengan jumlah mol produk. 2. Memperbesar tekanan akan menggeser kesetimbangan kekanan. 3. Kendala Tekanan sistem dibatasi oleh kemampuan alat dan faktor keselamatan.	150-300 atm
Konsentrasi	Pengambilan NH_3 secara terus menerus akan menggeser kesetimbangan ke arah kanan	
Katalis	Katalis tidak menggeser kesetimbangan kekanan, tetapi mempercepat laju reaksi secara keseluruhan	Fe dengan campuran Al_2O_3 KOH dan garam lainnya



Tipe katalis

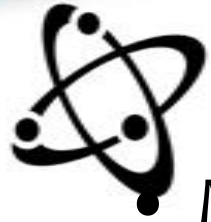
- Porous (cracking catalyst: silica-alumina, S.A ~ 300 m²/g)
- Molecular sieve (zeolite, clay, dll)
- Monolithic (mengurangi pressure drop & tahanan transfer panas). Contoh: catalytic converter
- Supported (Pt/Al₂O₃, Ni/Al₂O₃, Rh/SiO₂, dll)
- Unsupported (Pt gauze, promoted Fe, silica-alumina, dll)



Porous catalys

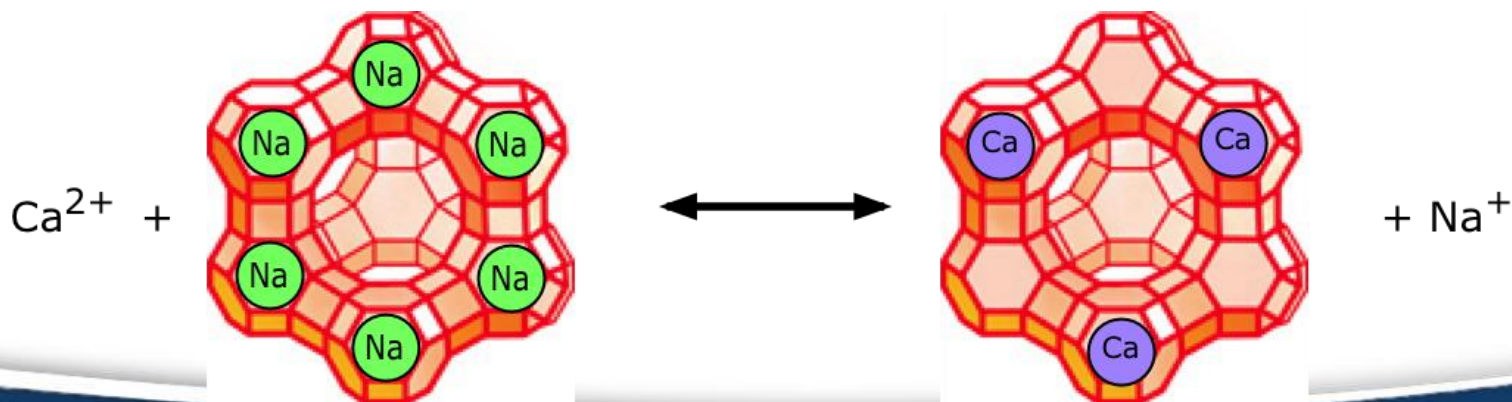
- Porous catalys : katalis yang mempunyai pori besar → area kontak besar
- Ex : hidrogenasi minyak sayur / hewan → Ni, reforming petroleum naftalena → Pt dalam alumina

[Back](#)



Molecular sieves

- Molecular sieves → katalis dengan pori yang kecil dimana molekul kecil dapat masuk
- Zeolit tipe A : kation Na dg lebar pori 4 Å → disebut MS4A.
- Jika Na diganti Ca → lebar pori 5 Å pores → disebut MS5A.
- Jika Na diganti K → disebut MS3A.





Type	Application
MS 3A	drying of alcohols and olefins
MS 3A SC	drying of cracked gases and olefins
MS 4A	<ul style="list-style-type: none">• drying of gases and liquids• methanol removal from gases and liquids
MS 4A NG	drying and CO ₂ removal from natural gas
MS 5A	<ul style="list-style-type: none">• drying and CO₂ removal from gases and LPG's• methanol removal from gases and liquids• H₂S, mercaptan and COS removal from gases and LPG's
MS 5A PS	<ul style="list-style-type: none">• CO and N₂ removal from H₂ rich streams in PSA• O₂ production from air by PSA
MS 5A SP	separation of iso/normal paraffins in vapor phase processes
MS 13X	<ul style="list-style-type: none">• drying and mercaptan separation from natural gas and LPG• NH₃ and CO₂ removal from gas streams
MS 13X ASP	drying and CO ₂ removal from air or gas streams

[Back](#)



Konsep reaksi katalitik heterogen

- Reaksi Katalitik : terjadi pada antar muka (interface) fluida padat → luas permukaan antar muka hrs tinggi → berpengaruh secara signifikan pada laju reaksi.

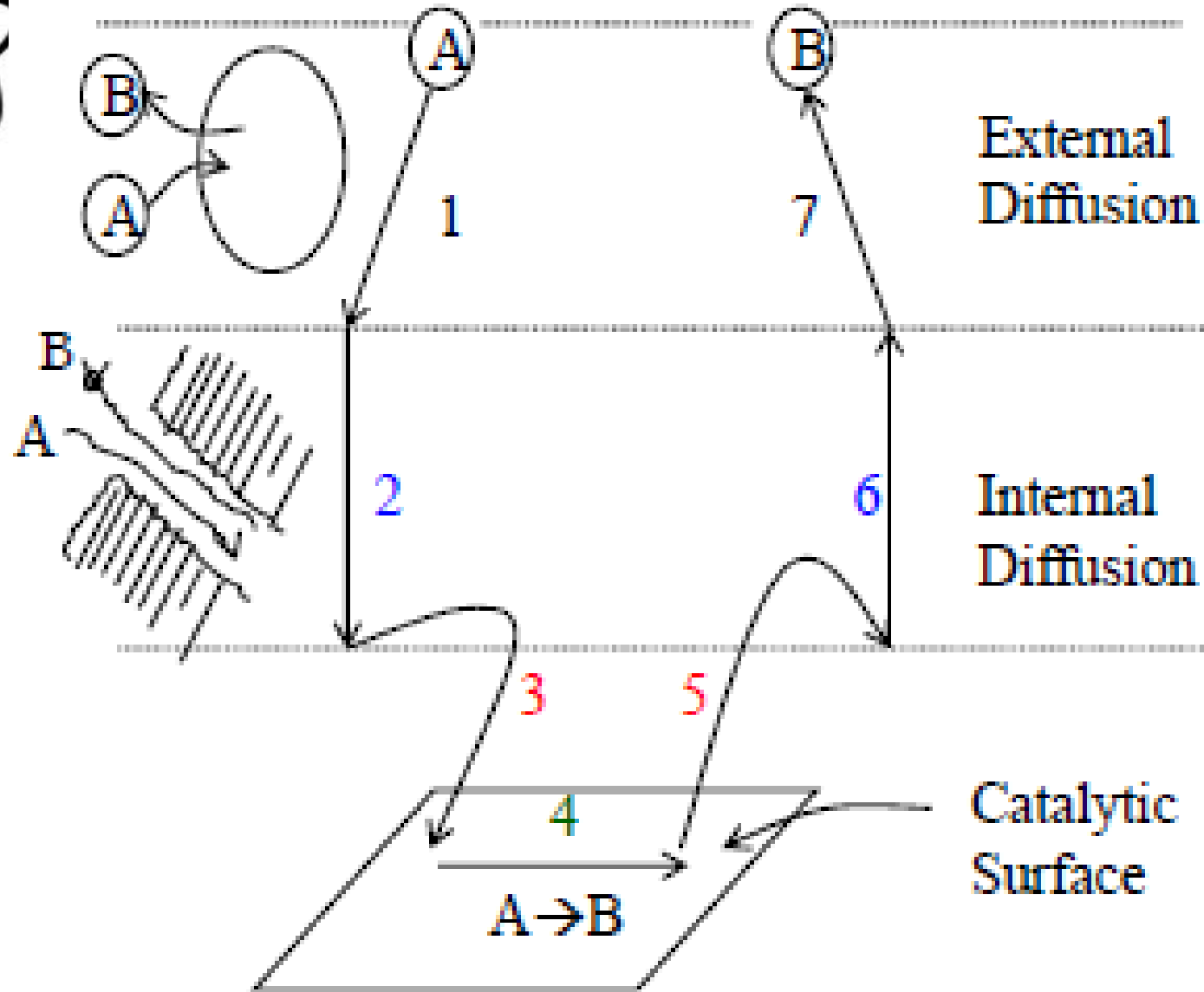


Tahapan

1. Transfer massa (difusi) reaktan, bulk → permukaan eksternal pelet katalis
2. Difusi reaktan: mulut pori → permukaan internal katalis melalui pori.
3. Adsorpsi reaktan → permukaan katalis.
4. Reaksi pada permukaan katalis



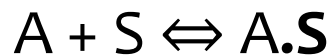
5. Desorpsi produk (contoh: spesies B) dari permukaan katalis.
6. Difusi produk dari permukaan internal pelet menuju mulut pori pada permukaan eksternal katalis.
7. Transfer massa produk dari permukaan eksternal ke fasa bulk.





Adsorpsi isotermis

- Adsorpsi spesies A pada site S ditunjukkan oleh:



S : active site (vacant site , occupied site)

A : atom, molekul

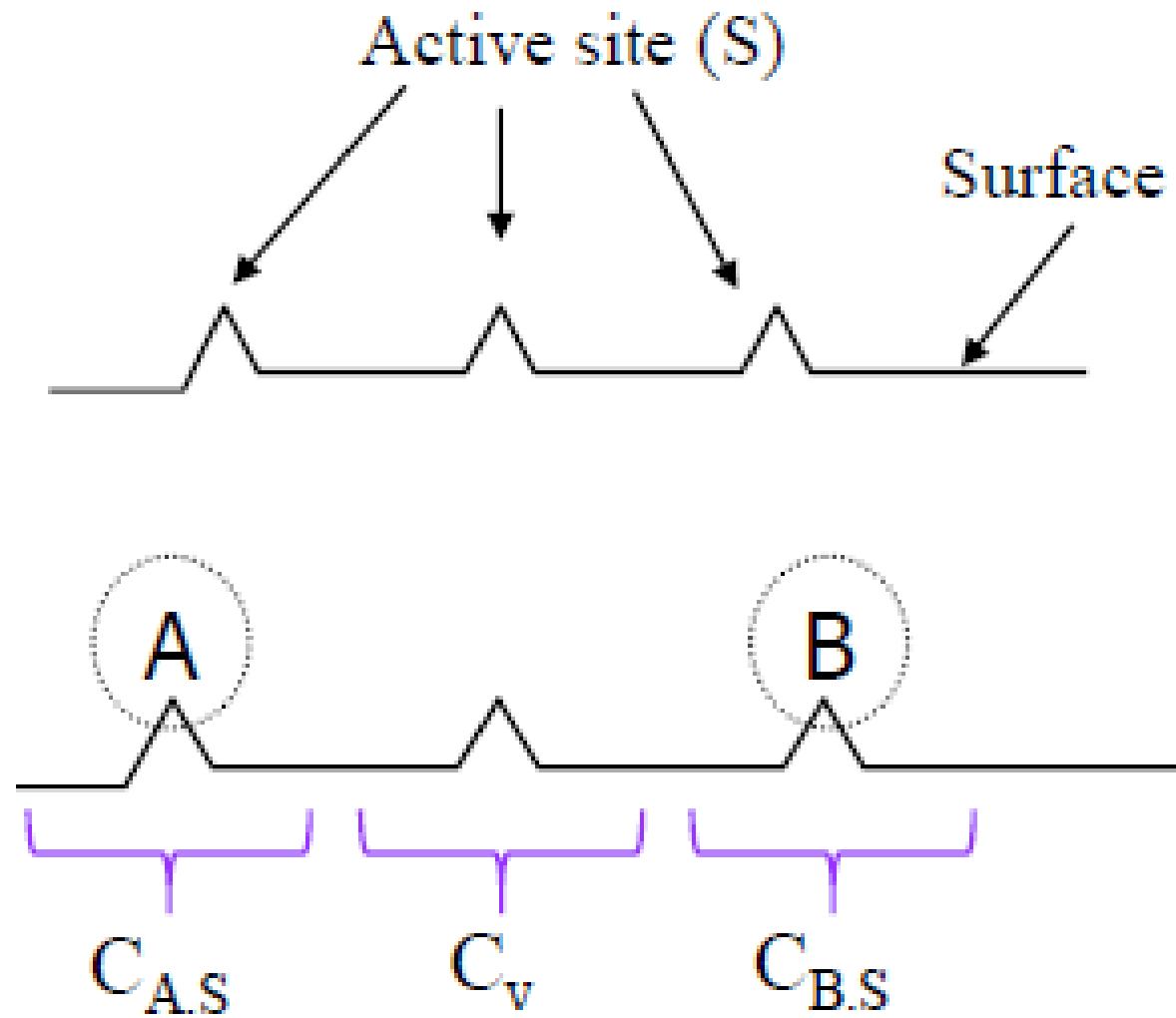
A . S : A yang teradsorpsi pada site S

- Konsentrasi total active site :

$$C_t = C_v + C_{A.S} + C_{B.S}$$

- Laju adsorpsi spesi A pd perm. katalis :

$$r_{AD} = k_A \left(P_A C_v - \frac{C_{A.S}}{K_A} \right)$$





1. Molecular Adsorption : $H_2 + S \rightleftharpoons H_2 \cdot S$

At equilibrium: $r_{AD} = 0 = k \left[P_{H_2} C_V - \frac{C_{H_2 \cdot S}}{K_{H_2}} \right]$

$$C_{H_2 \cdot S} = K_{H_2} P_{H_2} C_V$$

$$C_t = C_V + C_{H_2 \cdot S}$$

$$C_{H_2 \cdot S} = \frac{K_{H_2} P_{H_2}}{1 + K_{H_2} P_{H_2}} C_t$$

2. Dissociative Adsorption : $H_2 + 2S \rightleftharpoons 2H \cdot S$

At equilibrium: $r_{AD} = 0 = k \left[P_{H_2} C_V^2 - \frac{C_{H \cdot S}^2}{K_H} \right]$

$$C_{H \cdot S} = C_T \frac{\sqrt{P_{H_2} K_H}}{1 + \sqrt{P_{H_2} K_H}}$$

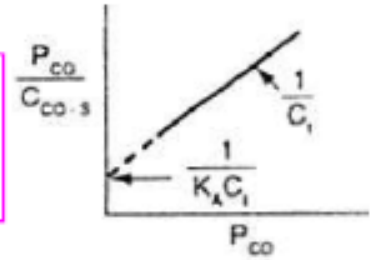


1. Molecular Adsorption : $\text{CO} + \text{S} \rightleftharpoons \text{CO.S}$

$$C_{\text{CO.S}} = \frac{K_A P_{\text{CO}} C_t}{1 + K_A P_{\text{CO}}}$$

linierisasi

$$\frac{P_{\text{CO}}}{C_{\text{CO.S}}} = \frac{1}{K_A C_t} + \frac{P_{\text{CO}}}{C_t}$$



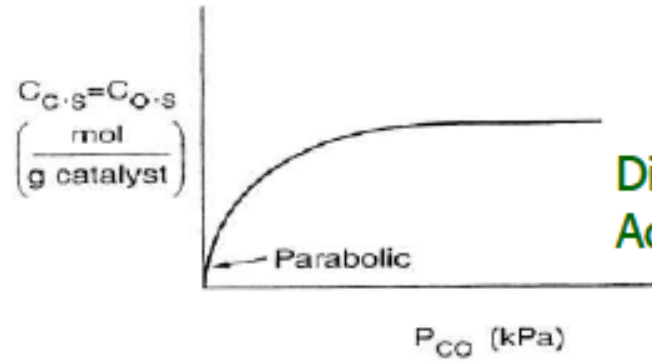
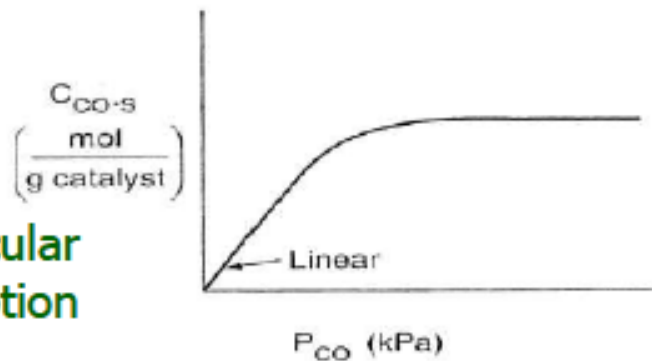
2. Dissociative Adsorption : $\text{CO} + 2\text{S} \rightleftharpoons \text{C.S} + \text{O.S}$

$$C_{\text{O.S}} = \frac{(K_A P_{\text{CO}})^{1/2} C_t}{1 + 2(K_A P_{\text{CO}})^{1/2}}$$

linierisasi

$$\frac{(P_{\text{CO}})^{1/2}}{C_{\text{O.S}}} = \frac{1}{(K_A)^{1/2} C_t} + \frac{2(P_{\text{CO}})^{1/2}}{C_t}$$

Molecular
Adsorption



Dissosiative
Adsorption



Desorpsi

- Produk-produk hasil reaksi permukaan selanjutnya didesorpsi menuju ke fasa gas.



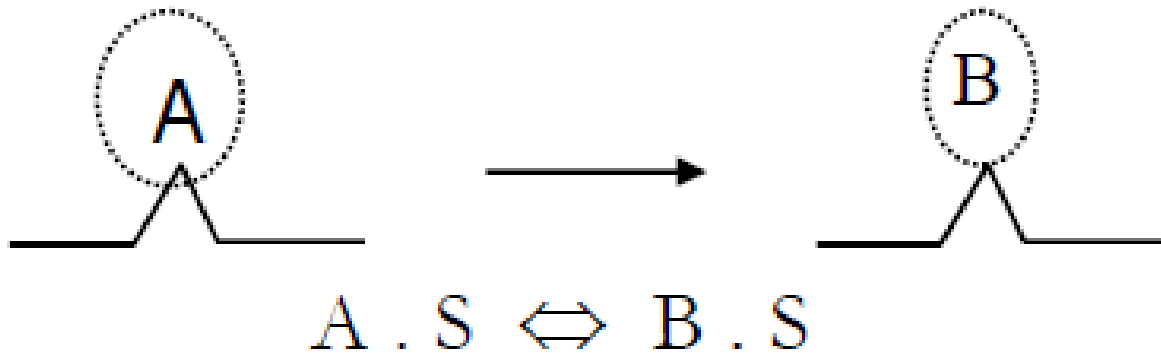
- Laju desorpsi A merupakan kebalikan dari laju adsorpsi A.
- ***Active Site (S):**
- Suatu titik pada permukaan katalis yg dpt membentuk ikatan kimia yg sangat kuat dg atom/molekul yg teradsorp.
- Jumlah molekul yang bereaksi pada tiap active site tiap detik disebut turnover frequency



Reaksi permukaan

A teradsorpsi ($A.S$) dapat bereaksi dengan cara:

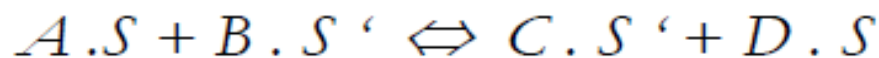
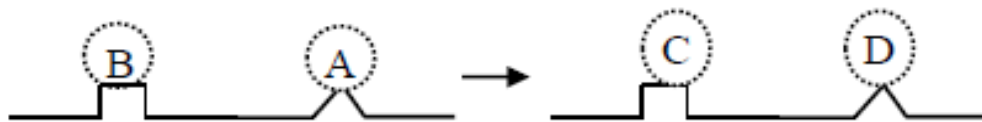
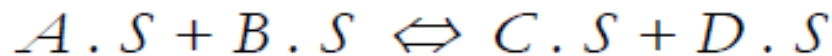
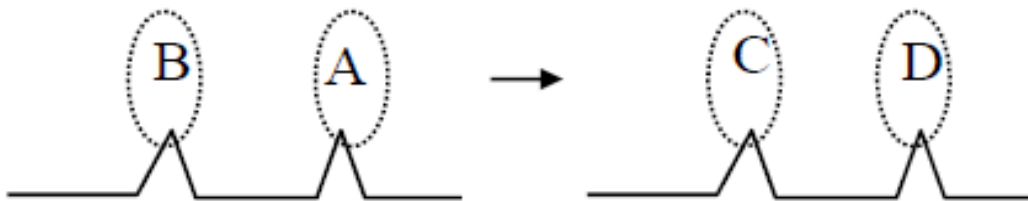
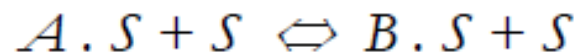
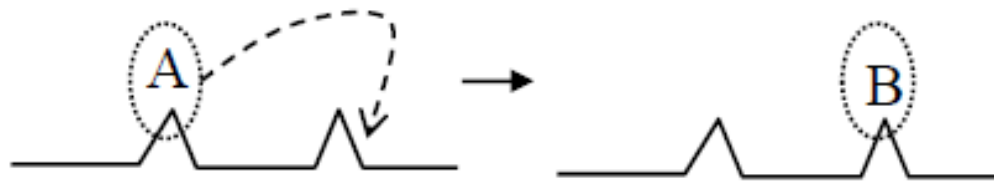
- **Single-site mechanism** (Langmuir-Hinshelwood, L-H)





Reaksi permukaan

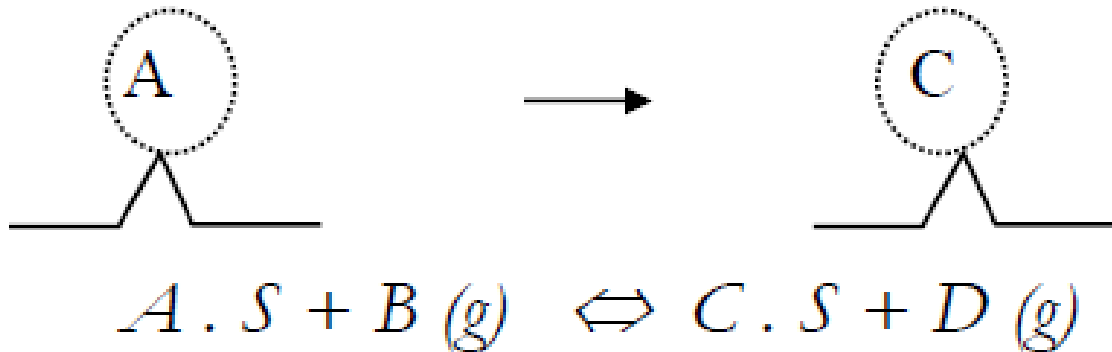
- Dual-site mechanism (L-H)





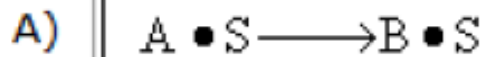
Reaksi permukaan

- Reaksi antara molekul teradsorpsi dan molekul fasa gas (**Eley-Rideal**)



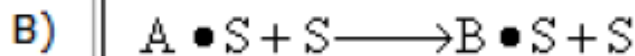


Single site



$$-r'_A = \frac{kP_A}{1 + K_A P_A + K_B P_B}$$

Dual Site

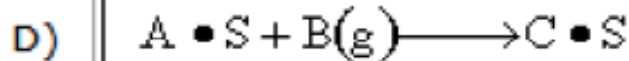


$$-r'_A = \frac{kP_A}{(1 + K_A P_A + K_B P_B)^2}$$



$$-r'_A = \frac{kP_A P_B}{(1 + K_A P_A + K_B P_B + K_C P_C)^2}$$

Eley-Rideal



$$-r'_A = \frac{kP_A P_B}{1 + K_A P_A + K_C P_C}$$