

PEMILIHAN KATALIS YANG IDEAL

Dewi Yuanita Lestari

Jurusan Pendidikan Kimia FMIPa UNY)

Abstrak

Kajian ini ditujukan untuk mempelajari pemilihan katalis yang ideal. Penggunaan katalis dalam berbagai reaksi kimia maupun proses industri semakin meningkat. Pemilihan katalis yang tepat tentunya akan mengakibatkan hasil yang maksimal. Kriteria pertama yang dilihat dalam pemilihan katalis biasanya adalah aktivitas dan selektivitas katalis. Selain kriteria tersebut beberapa hal perlu diperhatikan dalam pemilihan katalis antara lain: stabilitas katalis dalam kondisi operasi yang dipengaruhi oleh peracunan katalis pengotor dalam umpan, deaktivasi katalis oleh satu atau lebih produk, hilangnya aktivitas akibat penguapan, hilangnya aktivitas akibat transformasi kristalografi. Selain itu perlu juga diperhatikan terkait dengan legalitas katalis yang menyangkut hak paten. Dalam pemilihan katalis hendaknya dihindari penggunaan katalis yang sulit ditemukan dan atau yang harganya mahal karena hal tersebut menyebabkan biaya proses juga menjadi mahal. Katalis logam biasanya diimbangkan pada suatu padatan pengemban (*support*) sehingga pemilihan padatan pengemban yang optimum. Kriteria pemilihan pengemban antara lain meliputi: stabilitas pengemban, sifat inert pengemban, biaya, legalitas terkait hak paten. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa untuk suatu reaksi yang sama, hasil reaksi bervariasi tergantung pada jenis katalis yang digunakan.

Kata kunci: katalis, selektivitas, aktivitas

PENDAHULUAN

Katalis merupakan zat yang ditambahkan dalam sistem reaksi untuk mempercepat reaksi. Katalis dapat menyediakan situs aktif yang berfungsi untuk mempertemukan reaktan dan menyumbangkan energi dalam bentuk panas sehingga molekul pereaktan mampu melewati energi aktivasi secara lebih mudah. Karena fungsinya yang sangat penting, maka penggunaan katalis menjadi kebutuhan yang sangat penting dalam berbagai industri. Kebutuhan akan katalis dalam berbagai proses industri cenderung mengalami peningkatan. Hal ini terjadi karena proses kimia yang menggunakan katalis cenderung lebih ekonomis.

Dalam mempercepat laju reaksi, katalis bersifat spesifik. Artinya suatu katalis dapat mempercepat pada reaksi tertentu saja tidak pada semua reaksi kimia. Contohnya, suatu katalis A mampu mempercepat laju reaksi pada reaksi hidrogenasi namun kurang baik jika digunakan pada reaksi oksidasi. Hal tersebut terikat erat dengan sifat fisika dan sifat kimia katalis. Dalam reaksi yang sama terdapat beberapa kemungkinan jenis material yang dapat digunakan dalam proses reaksi tersebut. Misalnya dalam reaksi hidrogenasi dapat digunakan katalis Fe, Co, Ni (Le Page, 1987).

Kemampuan suatu katalis dalam mempercepat laju reaksi dipengaruhi oleh berbagai faktor. Faktor-faktor yang mempengaruhi performa katalis antara lain adalah sifat fisika dan kimia katalis; kondisi operasi seperti temperatur, tekanan, laju alir, waktu kontak; jenis umpan yang digunakan; jenis padatan pendukung yang digunakan. Katalis yang dipreparasi dengan cara yang berbeda akan menghasilkan aktivitas dan selektivitas yang berbeda (Rieke dkk, 1997). Kemampuan suatu katalis

Dewi Yuanita Lestari / Pemilihan Katalis yang

dalam suatu proses biasanya diukur dari aktivitas dan selektivitasnya. Aktivitas biasanya dinyatakan dalam persentase konversi atau jumlah produk yang dihasilkan dari jumlah reaktan yang digunakan dalam waktu reaksi tertentu. Sedangkan selektivitas adalah ukuran katalis dalam mempercepat reaksi pada pembentukan suatu produk tertentu.

Karena ada banyak faktor yang mempengaruhi kinerja katalis dalam mempercepat laju reaksi, maka perlu dilakukan pemilihan katalis secara cermat sebelum menggunakan katalis dalam suatu proses tertentu. Pemilihan katalis yang tepat dalam suatu proses dapat menyebabkan proses yang diinginkan memiliki hasil yang optimal. Sedangkan pemilihan katalis yang tidak tepat dapat menyebabkan proses menjadi kurang efisien sehingga akibatnya juga menjadi kurang ekonomis. Bahkan pemilihan katalis yang tidak tepat bisa juga menyebabkan adanya efek toksisitas yang berbahaya ataupun dapat mencemari lingkungan.

PEMBAHASAN

Kriteria Pemilihan Katalis

Kriteria pertama yang dilihat dalam pemilihan katalis biasanya adalah aktivitas dan selektivitas katalis. Selain kriteria tersebut beberapa hal perlu diperhatikan dalam pemilihan katalis antara lain: stabilitas katalis dalam kondisi operasi yang dipengaruhi oleh peracunan katalis pengotor dalam umpan, deaktivasi katalis oleh satu atau lebih produk, hilangnya aktivitas akibat penguapan, hilangnya aktivitas akibat transformasi kristalografi. Selain itu perlu juga diperhatikan terkait dengan legalitas katalis yang menyangkut hak paten. Dalam pemilihan katalis hendaknya dihindari penggunaan katalis yang sulit ditemukan dan atau yang harganya mahal karena hal tersebut menyebabkan biaya proses juga menjadi mahal.

Katalis logam biasanya diimbangkan pada suatu padatan pengemban(*support*) sehingga pemilihan padatan pengemban yang optimum. Kriteria pemilihan pengemban antara lain meliputi: stabilitas pengemban, sifat inert pengemban, biaya, legalitas terkait hak paten.

Tabel 1. Contoh pemilihan katalis

Sifat	Katalis									
Aktivitas	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Selektivitas		B	C	?	E		G	H	?	J
Stabilitas	A		C	D	E		G	H	I	J
Ekonomi	A	B	C	D	E		G		I	J
Bebas Patent	A	B		D			G		I	J
Pemilihan				D			G		I	J

Tabel 1 merupakan ilustrasi pemilihan suatu katalis. Dari melihat berbagai literatur dapat dituliskan beberapa kemungkinan mineral yang dapat digunakan sebagai katalis, contohnya A, B, C, D, E, F, G, H, I, dan J. Selanjutnya berdasarkan data dari literatur dapat dilihat beberapa kriteria untuk reaksi yang akan dilakukan. Kriteria tersebut antara lain meliputi: aktivitas, selektivitas, aspek ekonomi, dan aturan paten atau legalitasnya. Jika masih ragu dengan salah satu kriteria maka dapat diberikan tanda tanya yang menunjukkan bahwa kriteria tersebut masih memerlukan eksperimen yang lebih lanjut. Dari Tabel 1 tersebut terlihat bahwa katalis yang mempunyai probabilitas besar untuk digunakan adalah D, G, I dan J namun D dan I memerlukan penelusuran lebih mendalam.

Dalam melangsungkan suatu reaksi katalitik tidak hanya jenis katalis saja yang perlu mendapat perhatian. Analisis terhadap reaksi katalitik sangat perlu untuk dilakukan. Analisis ini dapat meliputi:

1. Umpan yang digunakan. Sangat perlu untuk melihat produsen(sumber industri) yang memproduksi bahan umpan tersebut karena akan menentukan dalam hal konsentrasi, jenis reaksi yang dilakukan dalam proses sintesisnya, keberadaan zat pengotor baik yang bersifat

inert maupun bersifat racun. Salah satu contohnya adalah pada umpan dari *oleochemical*. Sejumlah kecil organosulfur merupakan pengotor dalam bahan baku *oleochemical* yang dapat mengakibatkan deaktivasi katalis tembaga yang digunakan untuk hidrogenolisis ester menjadi *fatty alcohol*. Brand *et al.* (1999) mempelajari deaktivasi katalis Cu/SiO₂ dan Cu/ZnO/SiO₂ akibat adanya sulfur pada hidrogenolisis metil palmitat dalam fasa cair. Laju deaktivasi sangat cepat dan meningkat sebagai fungsi keberadaan komponen sulfur sebagai berikut: *octadecanethiol* \approx *dihexadecyl disulfide* < *benzyl isothiocyanate* < *methyl p-toluene sulfonate* < *dihexadecyl sulfide* < *di-benzothiophene*. Proses deaktivasi berlangsung dengan cepat karena terbentuk sulfida pada permukaan selama kondisi proses hidrogenolisis. Umur katalis yang menggunakan seng sebagai promoter adalah dua kali lebih lama dibandingkan dengan katalis Cu/SiO₂. Hal ini terjadi karena terbentuknya seng sulfida pada permukaan katalis

2. Produk yang diinginkan yang meliputi kemurnian, spesifikasi komposisi
3. Mekanisme yang mungkin terjadi berdasarkan data yang tersedia dari penelitian terdahulu. Mekanisme ini tidak hanya menyangkut reaksi utama tetapi juga menyangkut reaksi samping yang harus dihindari.
4. Kompilasi data termodinamika yang berkaitan dengan perkiraan mekanisme reaksi
5. Evaluasi ekonomi yang menyeluruh dalam hal umpan, harga produk, perbandingan antara ongkos dan harga, tingkat minimal aktivitas dan selektivitas yang dibutuhkan untuk proses yang ekonomis (Le Page, 1987).

Pengaruh Penambahan Logam Transisi terhadap selektivitas Katalis

Katalis dengan selektivitas tinggi sangat dibutuhkan untuk proses reaksi yang memiliki produk lebih dari satu atau proses yang memiliki reaksi samping. Agar dapat diperoleh produk yang diinginkan dengan jumlah maksimal dan produk samping yang seminimal mungkin maka sangat diperlukan katalis yang bersifat selektif. Li, Y., Zhou, R., dan Lai, G. (2006) telah menyelidiki efek penambahan logam transisi pada katalis Pt/CNTs. Penambahan logam transisi pada katalis Pt/CNTs telah menyebabkan perbedaan pada sifat hidrogenasi CMA. Setelah dimodifikasi menggunakan Ni, Mn, dan Cr, katalis platina menunjukkan selektivitas yang bagus untuk hidrogenasi ikatan C=C dan katalis PtNi/CNTs menunjukkan hasil terbaik untuk hidrogenasi katalitik yaitu konversi CMA 68,4% dan selektivitas untuk HCMA sebesar 9%. Hasil tersebut dapat dilihat pada Tabel 2. Setelah katalis platina dimodifikasi dengan logam Co, Cu, dan Fe ternyata hasilnya berbeda. Katalis ini menjadi selektif terhadap hidrogenasi pada ikatan C=O dan yang menunjukkan hasil terbaik adalah katalis PtCo/CNTs dengan hasil konversi CMA 91,3% dan selektivitas terhadap CMO 88,2%. Penambahan Ni dan Co menyebabkan peningkatan aktivitas katalitik hidrogenasi CMA. Pada hidrogenasi α , β -aldehid takjenuh, hidrogenasi yang selektif terhadap ikatan C=C mudah dilakukan karena secara termodinamika hidrogenasi C=C lebih mudah dilakukan dibanding hidrogenasi terhadap C=O. Oleh karena itu perubahan terhadap struktur permukaan katalis atau sifat elektronik katalis perlu dilakukan untuk meningkatkan selektivitas hidrogenasi terhadap C=O atau C=C. Yang menarik adalah meskipun Fe, Co, Ni memiliki sifat yang mirip namun penambahan ketiga logam tersebut akan memberikan efek yang berbeda terhadap selektivitas hidrogenasi CMA menggunakan katalis PtM/CNTs. Penambahan Ni dan Fe meningkatkan selektivitas CMA menjadi CMO. Efek logam transisi terhadap hidrogenasi pada katalis Pt dapat dijelaskan dengan efek elektronik dan atau geometris. Aktivitas katalis bimetal umumnya meningkat pada rasio M/Pt yang rendah. Sifat hidrogenasi yang baik akan diperoleh pada partikel Pt yang luas. Kation Co²⁺ dan Fe³⁺. Berperan sebagai asam Lewis yang akan berinteraksi dengan lone electron pair pada atom oksigen dari gugus C=O dan akan menyukai hidrogenasi terhadap C=O karena adanya hidrida dari hidrogen yang teradsorpsi pada logam Pt.

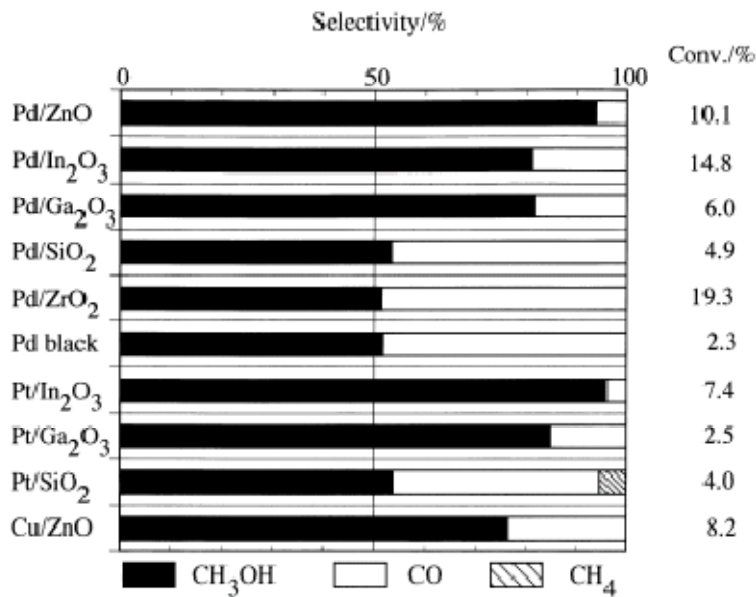
Tabel 2. Hidrogenasi CMA pada katalis Pt/CNTs (Li, Y., Zhou, R., dan Lai, G, 2006)

Catalyst	Conversion (%)	Selectivity (%)		
		HCMA	HCMO	CMO
Pt/CNTs	34.81	66.48	1.56	31.96
PtFe/CNTs	16.0	19.8	3.3	76.8
PtMn/CNTs	32.8	84.5	0	15.5
PtCr/CNTs	20.3	60.7	0	39.3
PtCu/CNTs	13.7	22.8	3.1	74.1
PtCo/CNTs	91.3	8.7	3.1	88.2
PtNi/CNTs	68.4	97.0	0	3.0

*Reaction condition: 1.8×10^{-3} g Pt, 8.0 mmol CMA, 19.0 mL C_2H_5OH , 343 K, 2.0 MPa, 1.5 h

Pengaruh Jenis Padatan Pendukung

Pada katalis heterogen yang berupa logam yang dideposisikan pada suatu padatan pendukung, jenis padatan pendukung akan mempengaruhi sifat dan kinerja katalis. Sehingga pada saat memilih suatu katalis heterogen terimpregnasi untuk suatu proses hendaknya diperhatikan jenis padatan pendukung yang akan digunakan. Hal-hal yang perlu diperhatikan antara lain stabilitas pengemban, luas permukaan pengemban, harga atau nilai ekonomis, interaksi pengemban dengan logam yang dideposisikan. Bahkan pada beberapa jenis pengemban, pengemban sendiri sudah memiliki situs-situs aktif yang dapat berfungsi sebagai katalis seperti contohnya pada zeolit. Pada tertentu perlu dilakukan perlakuan modifikasi agar diperoleh pengemban yang siap digunakan dalam proses katalisis. Contohnya adalah zeolit alam yang mudah diperoleh di alam sehingga harganya murah. pengemban Iwasa dkk (2001) melakukan hidrogenolisis metil format yang dilakukan dengan katalis Pt dan Pd pada berbagai pengemban. Hasil hidrogenolisis metil oleat dapat dilihat pada Gambar 1. Katalis yang menunjukkan selektivitas tinggi pada pembentukan metanol adalah katalis Pd/ZnO, Pd/In₂O₃, Pd/Ga₂O₃, Pt/In₂O₃, dan Pt/Ga₂O₃. Sedangkan katalis yang terembankan pada ZrO₂, SiO₂ dan Pd black memiliki selektivitas yang kurang baik terhadap pembentukan metanol. Struktur katalis dianalisis menggunakan XRD. Hasil analisis XRD menunjukkan bahwa pada katalis Pd/ZnO, Pd/In₂O₃, Pd/Ga₂O₃, Pt/In₂O₃, dan Pt/Ga₂O₃ ternyata teramati pembentukan alloy Pd-Zn, Pd-In, Pd-Ga, Pt-In, Pt-Ga. Sedangkan pada katalis Pd/ZrO₂, Pd/SiO₂, Pd black, Pt/SiO₂ ternyata tidak teramati terjadinya alloy melainkan hanya teramati puncak logam Pt dan Pd (Pt dan Pd metalik). Performa katalis Pd dan Pt untuk hidrogenolisis metil format sangat meningkat dengan pembentukan alloy Pd dan Pt. Pada alloy Pd dan Pt, metil format terhidrogenolisis secara selektif menjadi metanol sedangkan pada Pd dan Pt metalik metil format terkarbonilasi menjadi metanol dan karbonmonoksida



Gambar 1. Selektivitas berbagai katalis (Iwasa, dkk, 2001)

Toksisitas Katalis

Toksisitas katalis adalah salah satu hal yang perlu diperhatikan dalam pemilihan katalis. Meskipun suatu katalis memiliki aktivitas dan selektivitas yang tinggi dalam suatu proses namun bila bersifat toksik hendaknya penggunaannya dihindari agar tidak membahayakan. Atau dapat dikatakan bahwa terus perlu dikembangkan penggunaan katalis lain yang aktivitas serta selektivitasnya tinggi tetapi tidak bersifat toksik. Salah satu contohnya adalah katalis yang biasa digunakan dalam hidrogenasi ester yaitu Cu-Cr. Hattori dkk. (2000) mengembangkan katalis baru pengganti katalis konvensional Cu-Cr yang dapat melepaskan Cr heksavalen yang bersifat toksik. Katalis yang dikembangkan adalah katalis yang bebas Cr yaitu katalis oksida Cu-Fe-Al. Besi mempunyai efek promosi yang kuat yang hampir sama dengan Cr dan penambahan Al akan meningkatkan durabilitas secara signifikan. Analisis *powder*-XRD terhadap katalis yang digunakan menunjukkan bahwa penambahan Al menekan transformasi komponen CuFe₂O₄ menjadi α -Fe. Stabilitas CuFe₂O₄ selama proses reduksi ternyata meningkatkan durabilitas katalis. Setelah diujicobakan dalam skala industri ternyata katalis oksida Cu-Fe-Al memiliki kemampuan yang sama baiknya dengan katalis Cu-Cr konvensional (Hattori dkk, 2000).

Jenis prekursor yang digunakan dalam proses sintesis katalis ternyata juga memberikan pengaruh terhadap sifat katalis dan berpengaruh terhadap reaksi yang dikatalisis. Jong Hwa Park dkk, 2012 menggunakan dua jenis prekursor yang berbeda untuk sintesis katalis mesopori Mn/Al-SBA-16. Prekursor yang digunakan adalah Mn nitrat dan Mn asetat. Katalis yang dihasilkan digunakan untuk mengkatalisis oksidasi benzena menggunakan ozon. Aktivitas katalis yang disintesis menggunakan Mn asetat ternyata memiliki aktivitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan katalis yang disintesis menggunakan Mn nitrat. Dari hasil analisis yang dilakukan terlihat bahwa tipe prekursor yang digunakan untuk impregnasi logam Mn memberikan pengaruh terhadap dispersi, tingkat oksidasi serta mobilitas oksigen pada Mn terimpregnasi. Data XRD dan TPR menunjukkan bahwa Al-SBA-16-MA 15% memiliki dispersi Mn yang lebih baik dan memiliki derajat reduksi yang lebih tinggi dibandingkan Al-SBA-16-MN 15%. Analisis XPS menunjukkan bahwa dispersi yang tinggi dari Mn oksida dapat membentuk situs aktif utama bagi Al-SBA-16-MA 15%. Sifat katalitik ini menyebabkan aktivitas katalitik yang tinggi pada Al-SBA-16-MA 15%.

KESIMPULAN

Pemilihan katalis merupakan langkah yang penting untuk memperoleh hasil yang optimal dalam suatu proses. Dalam suatu reaksi yang sama, hasil reaksi bervariasi tergantung pada jenis katalis yang digunakan. Oleh karena itu dalam memilih katalis untuk digunakan dalam suatu proses hendaknya tidak sekedar melihat aktivitas dan selektivitasnya saja tetapi juga berbagai hal lain seperti toksisitas, stabilitas katalis dalam kondisi operasi, nilai ekonomi, aspek legalitas. Untuk dapat memilih katalis yang tepat diperlukan penelusuran referensi dan analisis yang tepat.

DAFTAR PUSTAKA

- Brand, D.S., Sai, U. A., Poels, E. K., and Bliet, A., 1999, Sulfur Deactivation of Fatty Ester Hydrogenolysis Catalyst, *J. Catal.*, vol.186, No. 1, 169-179
- Hattori, Y., Yamamoto, K., Kaita, J., Matsuda, M., and Yamada, S., 2000, The Development of nonchromium catalyst for fatty alcohol production. *JAACS* vol 77 No.12, 1283-1286
- Iwasa, N, Terashita, M., Arai, M., and Takezawa, N., 2001, New Catalytic Functions of Pd and Pt Catalytic for Hydrogenolysis of Methyl Formate. *React. Kinet. Catal. Lett.* Vol.74 No.1, 93-9
- Jong Hwa Park, Ji Man Kim, Mingshi Jin, Jong-Ki Jeon, Seung-Soo Kim, Sung Hoon Park, Sang Chai Kim and Young-Kwon Park. 2012. Catalytic Ozone Oxidation of Benzene at Low Temperature over MnOx/Al-SBA-16 Catalyst. *Nanoscale Research Letters*.7:14.
- Le Page. 1987. *Applied heterogeneous catalyst*. Editions Technip.Paris.
- Li, Y., Zhou, R., and Lai, G., 2006, Effect of Transition Metals (Cr, Mn, Fe, Co, Ni, and Cu) on Selective Hydrogenation of Cinnamaldehyde over Pt/CNTs Catalyst. *React. Kinet. Catal. Lett.*, Vol. 88, No 1, 105-110
- Rieke, R.D., Thakur, D., Roberts, B., and White, T., 1997, Fatty Methyl Ester Hydrogenation to Fatty Alcohol Part I: Correlation Between Catalyst Properties and Activity/Selectivity, *JAACS*, vol. 74, No.4, 333-339
- Rieke, R.D., Thakur, D., Roberts, B., and White, T., 1997, Fatty Methyl Ester Hydrogenation to Fatty Alcohol Part II: Process Issues, *JAACS*, vol. 74, No.4, 342-345