

# HIDROGENOLISIS METILSIKLOPENTANA PADA KATALIS 0.3% Pt/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

Hery Haerudin

Puslitbang Kimia Terapan-LIPI, Kawasan PUSPIPTEK, Serpong-15314

## ABSTRACT

*Hydrogenolysis of methylcyclopentane (MCP) was carried out with 0.3% Pt/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> catalyst at 210 °C and 235 °C in a batch reactor. Chemisorption of hydrogen and oxygen on the catalyst had also been measured. The mean value of platinum dispersion on the catalyst support measured by chemisorption technique was  $D = 84\%$ . The product distribution of hydrogenolysis of MCP, namely *n*-hexane : 2-methylpentane : 3-methylpentane was found to be 15 : 55 : 30 at 210 °C and 20 : 50 : 30 at 235 °C. The adsorption of MCP molecule at the boundary area between the metal particle and the support material was assumed to be the determining factor for that distribution profile. The activation energy ( $E_a$ ) of the hydrogenolysis of MCP on this catalyst was 95 kJ/mol.*

## INTISARI

*Hidrogenolisis metilsiklopentana (MSP) dilakukan dengan katalis 0.3% Pt/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> pada temperatur 210 dan 235 °C dalam sebuah reaktor batch. Telah dilakukan pula pengukuran kimisorpsi hidrogen dan oksigen pada katalis. Nilai rata-rata dispersi logam Pt pada katalis dari hasil pengukuran kimisorpsi adalah  $D = 84\%$ . Sebaran produk hidrogenolisis MSP dengan perbandingan *n*-heksana : 2-metilpentana : 3-metilpentana adalah 15 : 55 : 30 pada temperatur 210 °C dan 20 : 50 : 30 pada temperatur 235 °C. Adsorpsi molekul MSP pada bidang batas antara partikel logam katalis dan bahan penyangganya diperkirakan amat menentukan distribusi produk tersebut. Besar energi aktivasi ( $E_a$ ) untuk reaksi hidrogenolisis MSP pada katalis ini adalah 95 kJ/mol.*

## PENDAHULUAN

Metilsiklopentana (MSP) sebagai senyawa model sering digunakan untuk penelitian mengenai selektifitas logam platina pada reaksi

katalisis hidrokarbon, antara lain untuk menelaah pengaruh bahan penyangga pada efek ukuran partikel terhadap hidrogenolisis MSP [1], pengaruh perlakuan awal [2, 3], efek ukuran partikel [4], maupun efek kandungan logam dalam katalis [5]. Secara keseluruhan, MSP digunakan untuk mempelajari pengaruh interaksi antara bahan penyangga dan logam katalis terhadap selektifitas katalis [1-4].

Dengan menggunakan MSP dapat ditelaah perbandingan antara hasil reaksi dengan katalis dan kemungkinannya secara statistik, jika reaksi dilakukan tanpa katalis. Dari perbandingan itu dapat diketahui selektifitas katalis terhadap hidrogenolisis MSP. Parameter katalis yang paling berpengaruh terhadap selektifitas diperkirakan berdasarkan distribusi produknya. Pengaruh dari bahan penyangga dan aktifitas terhadap katalis dapat dipelajari dengan membandingkan hasil reaksi dengan hasil reaksi sejenis yang telah dilakukan dengan menggunakan katalis lain, serta dari besarnya energi aktivasi.

Ketergantungan selektifitas pada temperatur reaksi hanya dapat dibuktikan secara eksperimental dalam lingkup yang terbatas untuk rentang temperatur yang sempit, karena pada temperatur rendah reaksi tidak berjalan sedangkan pada temperatur tinggi akan terjadi pembentukan lapisan arang pada katalis yang menghambat jalannya reaksi [4]. Demikian pula perubahan tekanan hidrogen hanya memberikan efek yang kecil terhadap selektifitas katalis. Meskipun pada tekanan hidrogen yang rendah selektifitas reaksi hidrogenolisis berubah, hal ini secara praktis tidak begitu berarti, karena pada kondisi ini telah diketahui terjadinya pembentukan lapisan arang pada katalis, yang mengganggu jalannya reaksi itu sendiri [4]. Oleh karena itu faktor utama yang berpengaruh terhadap distribusi produk dalam hidrogenolisis MSP adalah struktur katalis yang ditentukan oleh ukuran partikel, bahan penyangga serta interaksi yang terjadi antara partikel logam dengan bahan penyangganya.

Dalam tulisan ini dibahas reaksi hidrogenolisis metilsiklopentana (MSP) pada

katalis  $Pt/Al_2O_3$  dengan kandungan platina sebesar 0.3% untuk mengetahui sejauh mana pengaruhnya pada distribusi produk. Di samping itu dibicarakan pula hal-hal yang berpengaruh pada selektifitas dan aktifitas katalis serta mekanisme reaksi yang mungkin berlangsung.

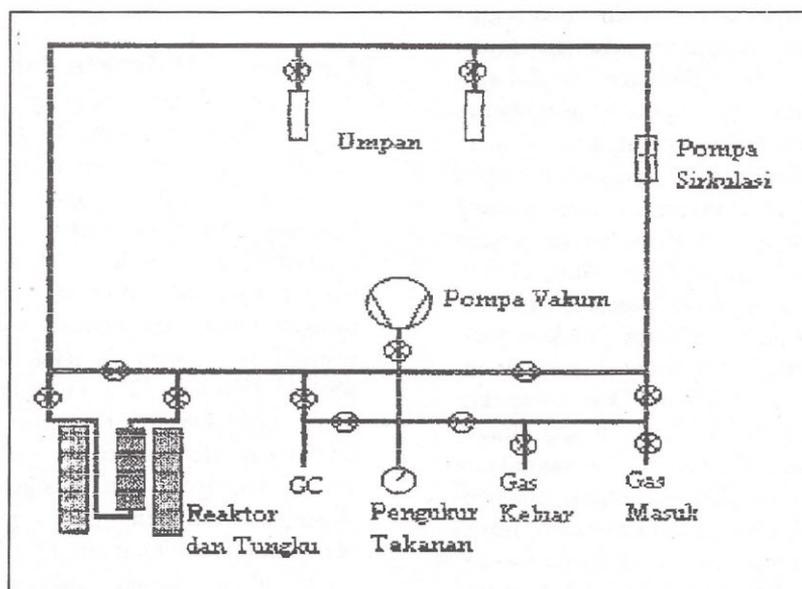
## CARA KERJA

### Alat

Alat pengukur adsorpsi volumetris seluruhnya terbuat dari gelas. Pada alat tersebut terdapat bagian untuk pengukuran dengan isi keseluruhan sebesar 8 ml, bagian ini dilengkapi dengan alat pengukur tekanan absolut dari Fa. Baratron. Sedangkan katup-katupnya merupakan katup untuk vakum ultra-tinggi terbuat dari

glas-baja dari Fa. Witeg. Sebuah pipa dari kuarsa dengan diameter pipa bagian dalam sebesar 18 mm dihubungkan melalui penghubung untuk vakum-tinggi dari Fa. Young dengan bagian untuk pengukuran, di bagian tengah pipa inilah cuplikan ditempatkan.

Alat untuk menguji selektifitas dan aktifitas katalis terbuat dari gelas dengan volume 120 ml. Alat ini merupakan reaktor batch. Sambungan-sambungan antara bagian reaktor terbuat dari teflon. Analisa gas dilakukan dengan alat kromatografi gas yang dihubungkan langsung dengan alat uji katalis. Alat kromatografi gas berasal dari Fa. F&M (Model 810). Pemisahan cuplikan dilakukan dengan kolom kapiler SPB-1 (30 m panjang, 0,35 mm diameter dalam) pada temperatur 70 °C. Sebagai gas pembawa digunakan helium. Detektor yang dipakai adalah FID. Skema alat keseluruhan diperlihatkan dalam Gambar 1 di bawah ini.



Gambar 1. Skema alat uji reaktifitas dan aktifitas katalis.

### Bahan

Katalis yang digunakan dalam percobaan ini adalah EUROPT-3 dengan kandungan Pt sebesar 0.3%. Banyaknya katalis yang dipakai dalam percobaan adalah 488 mg. Gas-gas yang digunakan, yaitu Helium ( $He$ ) dengan kemurnian 99,996%, Hidrogen ( $H_2$ )

dengan kemurnian 99,999% serta Oksigen ( $O_2$ ) dengan kemurnian 99,995% berasal dari Fa. Messer-Griesheim. Sebelum memasuki alat semua gas tersebut dimurnikan terlebih dahulu. Hidrogen dan helium dialirkan melalui pemurni gas dari Fa. Matthew, selanjutnya dimurnikan kembali dengan mengalirkannya melalui sebuah perangkat yang didinginkan dengan nitrogen cair. Perlakuan ini dimaksudkan untuk

mengendapkan pencemar yang dapat dikondensasikan. Gas oksigen dimurnikan dengan mengalirkannya melalui sebuah perangkap yang didinginkan dengan menggunakan pendingin alkohol.

### Prosedur Penelitian

Sebelum dilakukan pengujian, katalis diaktifkan dengan memanaskan katalis dalam aliran oksigen (60 ml/menit) pada temperatur 400°C selama 2 jam untuk membakar pengotor secara sempurna, kemudian didinginkan dalam aliran oksigen hingga mencapai temperatur ruang. Setelah divakumkan, katalis direduksi dalam aliran hidrogen (60 ml/menit) pada temperatur 350°C selama 30 menit untuk mengubah oksida platina menjadi logam. Reaksi berlangsung eksotermis, sehingga pada awal reduksi temperatur reaktor berada sedikit di bawah 350°C untuk menghindari pemanasan berlebih. Penentuan dispersi partikel logam platina pada permukaan bahan penyangga dilakukan dengan mengukur adsorpsi kimia hidrogen secara volumetris. Sebagai perbandingan dilakukan pula pengukuran kimisorpsi oksigen yang ditentukan dengan titrasi oksigen teradsorpsi dengan hidrogen secara volumetris. Metoda ini termasuk yang terbaik untuk mengukur dispersi logam platina pada permukaan katalis [6]. Pengukuran dilakukan pada temperatur konstan (25°C). Banyaknya gas yang teradsorpsi diukur pada tekanan yang meningkat, sehingga diperoleh adsorpsi isotermis tipe Langmuir. Dari interpolasi isotermis ini ke tekanan nol ( $p=0$  mbar) diperoleh titik potong pada ordinat yang menunjukkan banyaknya gas yang dibutuhkan untuk membentuk lapisan unimolekular pada permukaan. Harga yang diperoleh menunjukkan banyaknya gas yang teradsorpsi. Dispersi adalah nisbah antara banyaknya logam yang berada di permukaan dengan jumlah logam seluruhnya. Banyaknya logam pada permukaan ditentukan dengan persamaan berikut

$$n(\text{Pt})_s = n_m \times m(k) \times 2$$

$$D = \frac{n(\text{Pt})_s}{n(\text{Pt})_t}$$

dimana  
 $n_m$  = konsentrasilapisan unimolekular  
 [μmol/g]

$m(k)$  = banyaknya katalis [g]  
 $n(\text{Pt})_s$  = banyaknya atom Pt pada permukaan  
 [μmol]  
 $n(\text{Pt})_t$  = banyaknya atom Pt pada katalis yang  
 digunakan  
 $D$  = dispersi

Reaksi hidrogenolisis dilakukan dengan mengalirkan umpan (MSP) ke dalam reaktor sebesar 10 mbar, kemudian ditambahkan hidrogen hingga tekanan mencapai 1000 mbar. Setelah pengadukan awal selama satu menit dengan pompa sirkulasi, reaksi dapat dimulai dengan mengalirkan campuran gas ke reaktor. Reaksi berlangsung hingga 2 jam. Pencuplikan untuk analisa berlangsung secara otomatis. Cuplikan produk dianalisa setelah satu menit pertama reaksi, kemudian setiap empat menit selama 20 menit berikutnya, lalu setiap sepuluh menit hingga reaksi berakhir.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Kimisorpsi Hidrogen dan Oksigen

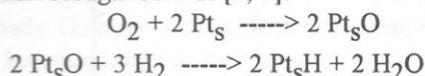
Penentuan dispersi partikel logam platina pada permukaan bahan penyangga dilakukan dengan mengukur adsorpsi kimia hidrogen dan titrasi oksigen teradsorpsi dengan hidrogen secara volumetris. Hasil pengukuran kimisorpsi ditunjukkan dalam Tabel 1. Dari hasil pengukuran adsorpsi hidrogen dan titrasi oksigen teradsorpsi dengan hidrogen diperoleh dispersi (D) logam Pt pada bahan penyangga sebesar 95% dan 72%. Perbedaan dispersi dari dua pengukuran di atas kemungkinan disebabkan oleh perbedaan mekanisme adsorpsi antara hidrogen dan oksigen pada platina. Adsorpsi hidrogen pada platina memiliki perbandingan stokiometri Pt : H = 1:1, artinya setiap atom platina pada permukaan dapat mengadsorpsi satu atom hidrogen. Akan tetapi atom-atom platina yang terletak pada permukaan mungkin pula mengadsorpsi lebih dari satu atom hidrogen per atom platina, jika ukuran partikel logam sangat kecil (<1.5 nm) [6]. Partikel dengan ukuran yang lebih kecil memiliki jumlah teras yang lebih banyak pada permukaannya, demikian pula dengan jumlah kekusutan (kink) dan birai (ledge). Pada bagian ini jumlah atom hidrogen maupun oksigen dapat teradsorpsi lebih dari satu per atom logam platina, sehingga penyimpangan dari stokiometris di atas dapat terjadi untuk partikel yang kecil.

Tabel 1. Hasil pengukuran adsorpsi volumetris pada temperatur 25°C dan tekanan 120 mbar.

Adsorbat	Banyaknya Gas Teradsorpsi [μmol/g]
Hidrogen	7.13
Oksigen	4.48
Hidrogen*	16.75

\* Hidrogen teradsorpsi sewaktu titrasi oksigen

Oksigen teradsorpsi secara disosiatif pada permukaan platina seperti halnya hidrogen. Stokiometri dari adsorpsi oksigen pada permukaan platina dan titrasi dengan hidrogen seringkali dirumuskan sebagai berikut [6, 7]:



dimana  $\text{Pt}_s$  adalah atom platina yang terletak di permukaan. Persamaan ini pun tidak berlaku secara umum. Seperti halnya adsorpsi hidrogen, penyimpangan adsorpsi oksigen dari persamaan di atas terjadi untuk ukuran partikel yang amat kecil [6]. Dengan menggunakan persamaan sederhana [6] di bawah ini, besar partikel dapat diperoleh dari dispersi tersebut di atas :

$$D = 0,9/d \quad d = \text{Ukuran partikel [nm]}$$

Atau dengan  $D = 95\%$  dan  $D = 72\%$  diperoleh diameter partikel masing-masing sebesar 0,9 nm dan 1,1 nm. Kramer dan Fischbacher [2] memperoleh nilai hampir sama hasil pengukuran dengan mikroskopi elektron transmisi pada katalis sejenis dengan kondisi perlakuan awal yang sama. Ukuran partikel Pt pada permukaan yang mereka peroleh dari pengukuran dengan TEM lebih kecil dari 1,5 nm ( $d < 1,5$  nm). Dari perhitungan sederhana di atas dapat dilihat bahwa ukuran partikel amat kecil (1,1 nm). Oleh karena itu penyimpangan-penyimpangan dari stokiometri Pt : H = 1:1 atau Pt : O = 1:1 dapat terjadi. Oleh karenanya amat mungkin terjadi perbedaan yang cukup besar antara hasil pengukuran hidrogen teradsorpsi dengan pengukuran oksigen teradsorpsi yang dititrasi dengan hidrogen. Dari kedua jenis pengukuran di atas diperoleh dispersi  $D = 84\%$ , yang merupakan rata-rata dari keduanya. Nilai rata-rata ini juga digunakan untuk perhitungan kinetika pada pembahasan berikutnya. Diagram adsorpsi isotermis dari hidrogen dan oksigen pada katalis diperlihatkan dalam Gambar 2.

### Hidrogenolisis Metilsiklopentana (MSP)

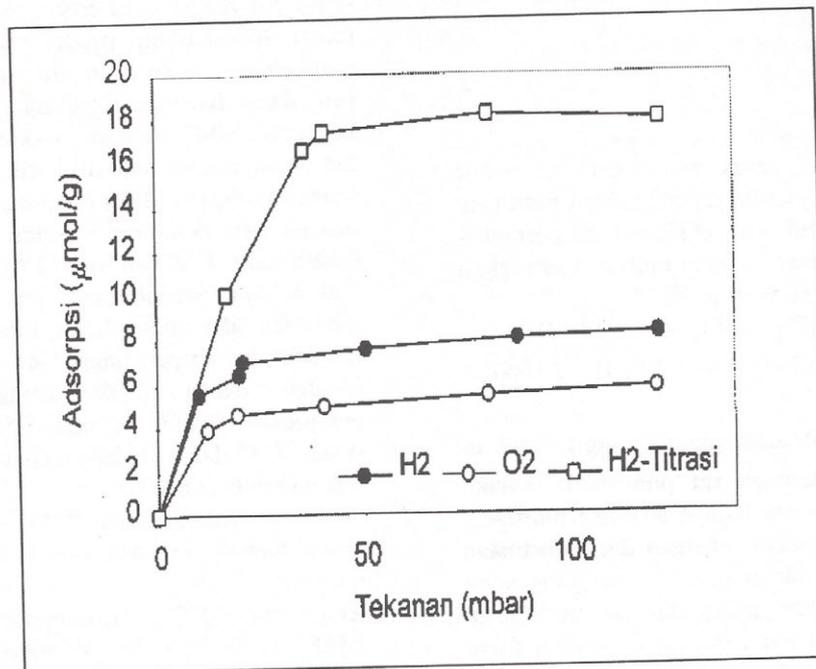
Produk hidrogenolisis pada temperatur 210°C dan 235°C hanya berupa n-heksana (n-H),

2-metilpentana (2-MP) dan 3-metilpentana (3-MP). Perbandingan ketiga produk utama tersebut terlihat konstan selama reaksi berlangsung, sehingga reaksi isomerisasi serta pembentukan rantai hidrokarbon pendek sebagai akibat pereengkahan senyawa umpan atau produk utama yang dapat diabaikan. Hubungan yang linier antara konversi MSP dengan waktu memperlihatkan hidrogenolisis ini memiliki orde nol berdasar pada senyawa umpan (MSP) (Gambar 5). Kemungkinan produk dari pemutusan ikatan C-C dalam MSP secara statistik adalah n-H : 2-MP : 3-MP = 40 : 40 : 20. Sebaran produk seperti ini diperkirakan akan diperoleh jika faktor-faktor lain seperti geometri molekul, bahan penyangga, jenis katalis atau juga kondisi reaksi tidak mempengaruhi reaksi pemutusan ikatan tersebut. Skema pemutusan ikatan C-C dalam hidrogenolisis MSP diperlihatkan dalam Gambar 3.

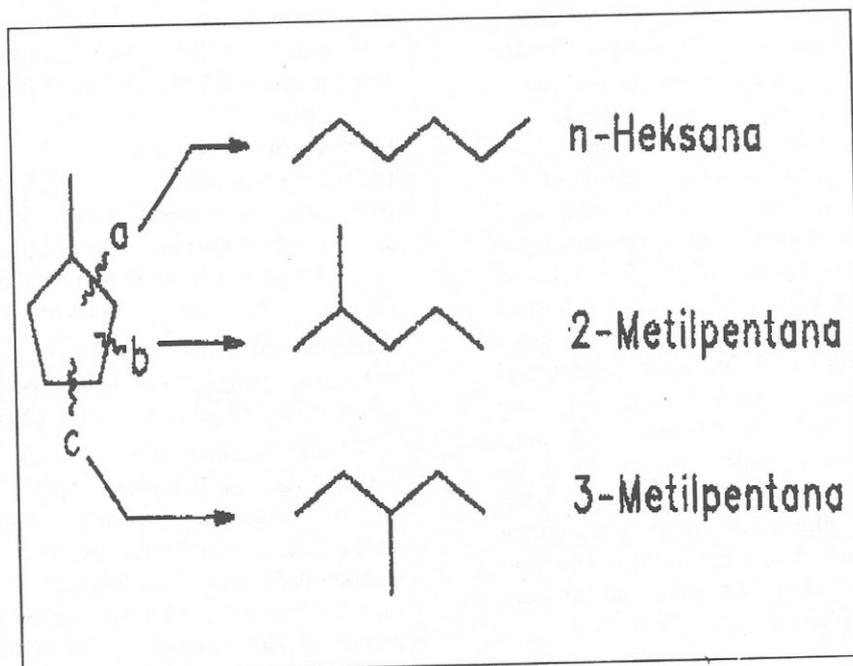
Hidrogenolisis MSP pada temperatur 210°C memberikan distribusi produk n-H : 2-MP : 3-MP = 15 : 55 : 30, sedangkan pada temperatur 235°C perbandingannya adalah n-H : 2-MP : 3-MP = 20 : 50 : 30. Produk berupa 2-MP tampak lebih dominan terbentuk, artinya pemutusan ikatan pada posisi b (Gambar 3) lebih mudah terjadi dibanding dengan pemutusan pada posisi a maupun posisi c (Gambar 3). Nisbah produk antara 2-MP dan 3-MP memperlihatkan nilai yang hampir mendekati kemungkinan secara statistik, dengan 2-MP/3-MP = 1,77 pada 210 °C dan 1,67 pada 235 °C. Sebaliknya, jika n-H dibandingkan dengan 3-MP ternyata perolehan n-H jauh lebih kecil dari kemungkinan secara statistik, yaitu n-H/3-MP = 0,45 pada 210 °C dan 0,66 pada 235 °C. Beberapa hal yang mempengaruhi selektifitas reaksi hidrogenolisis ini, antara lain adalah jenis logam katalis, bahan penyangga, konsentrasi logam dan besar partikel serta kondisi operasi. Jika iridium digunakan sebagai logam katalis dengan bahan penyangga  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , ternyata selektifitas terhadap pembentukan 2-MP dan 3-MP meningkat [5], sedangkan penggunaan bahan penyangga lain, seperti  $\text{SiO}_2$  memberikan selektifitas yang lebih mendekati kemungkinan statistik [2], dengan perbandingan produk n-H : 2-MP : 3-MP = 40 : 40 : 20. Perubahan konsentrasi logam katalis berkaitan erat dengan besar partikel dan dispersi partikel pada bahan penyangga. Pengaruh ukuran logam platina terhadap selektifitas reaksi menunjukkan bahwa pada katalis dengan ukuran partikel platina yang besar pembentukan 2-MP dan 3-MP berlangsung selektif [4]. Dengan ukuran partikel yang amat kecil, selektifitas

katalis akan turun. Reaksi pembukaan cincin akan berlangsung secara acak dengan distribusi

yang mendekati perbandingan statistik [4].



Gambar 2. Adsorpsi isothermis hidrogen dan oksigen pada katalis 0.3% Pt/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.



Gambar 3. Skema pemutusan ikatan C-C dalam hidrogenolisis MSP.

Reaksi pembukaan cincin yang selektif diasumsikan berlangsung pada atom permukaan dengan tingkat koordinasi yang tinggi melalui pembentukan spesies teradsorpsi seperti tampak pada Gambar 4-a, 4-b yang hanya memungkinkan terbentuknya 2-MP dan 3-MP. Jika ukuran partikel amat kecil, atom-atom dengan bilangan koordinasi rendah akan dominan. Pada sisi ini cincin C<sub>5</sub> antara diasumsikan terikat pada sebuah atom permukaan membentuk spesies yang teradsorpsi seperti pada Gambar 4-c. Dengan demikian tidak tertutup kemungkinan adanya atom C-tercier yang menjadi antara dan pembukaan secara acak pun terjadi. Ikatan molekul dengan permukaan logam terjadi setelah pelepasan atom hidrogen. Pada atom C-tercier hanya dapat melepaskan satu atom hidrogen, sedangkan pada atom C-sekunder dapat melepaskan 2 atom hidrogen. Ikatan molekul dengan logam terjadi antara atom-atom C tersebut dengan logam, membentuk sejenis ikatan tunggal atau ikatan ganda.

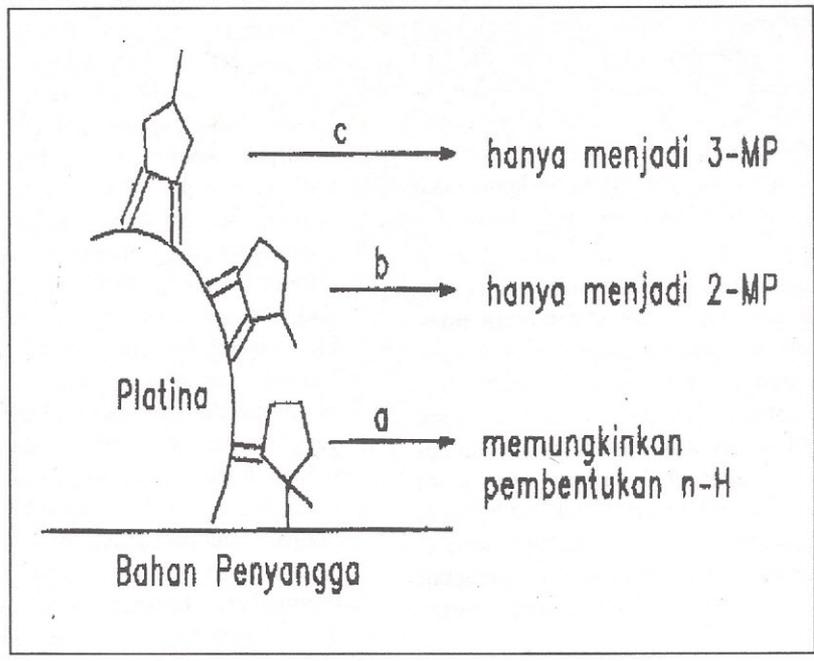
Faktor lain yang berkaitan dengan ukuran partikel adalah panjang bidang batas antara logam dengan penyangganya, dengan ukuran partikel yang lebih kecil panjang bidang batas akan semakin besar. Tersedianya bidang batas yang lebih besar memungkinkan reaksi yang berlangsung pada bidang batas untuk lebih sering terjadi, sehingga diperoleh distribusi produk yang berbeda dibanding distribusi produk yang diperoleh jika reaksi lebih banyak berlangsung pada permukaan logam, yaitu pada ukuran partikel yang besar [4]. Dalam hal ini terdapat suatu mekanisme yang dikenal sebagai mekanisme adlineasi, yang menyatakan bahwa reaksi selektif berlangsung pada permukaan logam sedang reaksi yang tak selektif berlangsung pada bidang batas antara logam dengan penyangga [8, 9]. Pada Gambar 4 diperlihatkan kemungkinan posisi MSP teradsorpsi pada bidang batas antara permukaan logam katalis dengan bahan penyangga katalis. Posisi MSP seperti pada Gambar 4-a, 4-b dan 4-c memungkinkan terjadinya pemutusan ikatan C-C yang dapat memberikan distribusi produk seperti di atas. Jika semua bagian molekul MSP teradsorpsi hanya pada permukaan logam katalis, maka hanya produk 2-MP dan 3-MP yang mungkin terbentuk, sedang-

kan n-H tidak terbentuk karena alasan geometris. Sebaliknya, jika bidang datar molekul sejajar dengan permukaan katalis, maka distribusi produk secara statistik seharusnya diperoleh, yaitu n-H : 2-MP : 3-MP = 40 : 40 : 20. Oleh karena itu, posisi molekul MSP pada saat adsorpsi, sebelum terjadinya pemutusan ikatan C-C, kemungkinan seperti dalam Gambar 4-a, 4-b dan 4-c. Meskipun selektivitas katalis pada temperatur tinggi menurun, aktifitas katalis pada temperatur tinggi ternyata lebih besar dibanding pada temperatur rendah, seperti ditunjukkan oleh harga tof (turn over frequency). Seperti tampak dalam Gambar 5, aktifitas katalis menurun dengan meningkatnya jumlah produk yang terbentuk. Dalam diagram ini terlihat bahwa kurva yang menunjukkan jumlah MSP dalam sistem akan semakin landai bersama dengan meningkatnya produk yang terbentuk. Kemiringan kurva per satuan sisi aktif merupakan besaran aktifitas (tof), dengan berkurangnya kemiringan kurva berarti pula aktifitas katalis menurun bersama dengan pembentukan produk. Dengan kata lain, peracunan sendiri berlangsung pada katalis ini. Perubahan kemiringan kurva ini dapat memperkirakan masa aktif katalis untuk suatu proses katalisis. Dari perolehan produk hidrogenolisis MSP pada berbagai temperatur reaksi didapat nilai tof untuk masing-masing temperatur (Tabel 2). Dari kurva Arrhenius (Gambar 6) diperoleh besar energi aktivasi (E<sub>a</sub>) 95 KJ/mol untuk reaksi hidrogenolisis MSP pada katalis ini.

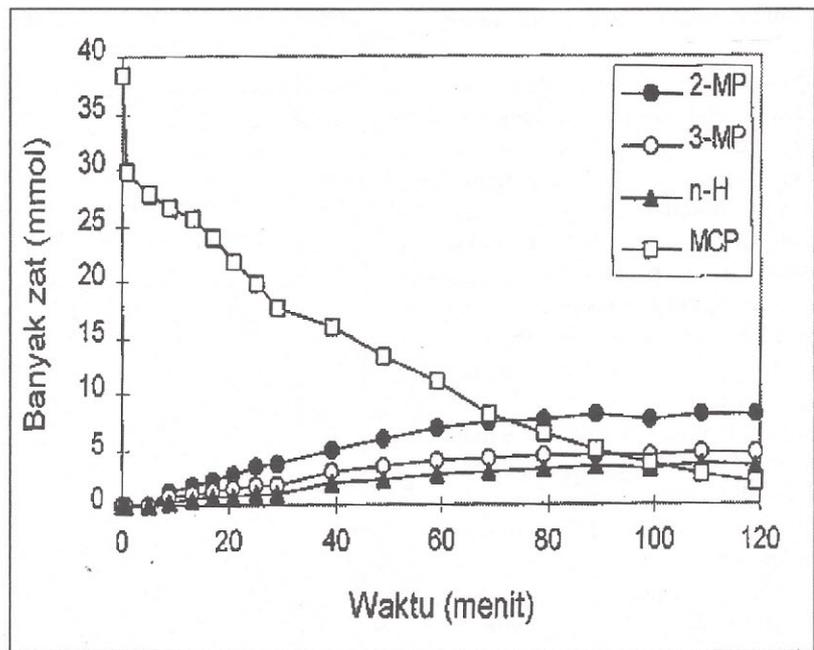
Tabel 2. Turn-over frequency reaksi hidrogenolisis MSP pada temperatur 210, 220, 235 dan 250 °C.

Temperatur (°C)	tof (s <sup>-1</sup> )
210	4.19 × 10 <sup>-4</sup>
220*	9.09 × 10 <sup>-4</sup>
235	11.29 × 10 <sup>-4</sup>
250*	31.80 × 10 <sup>-4</sup>

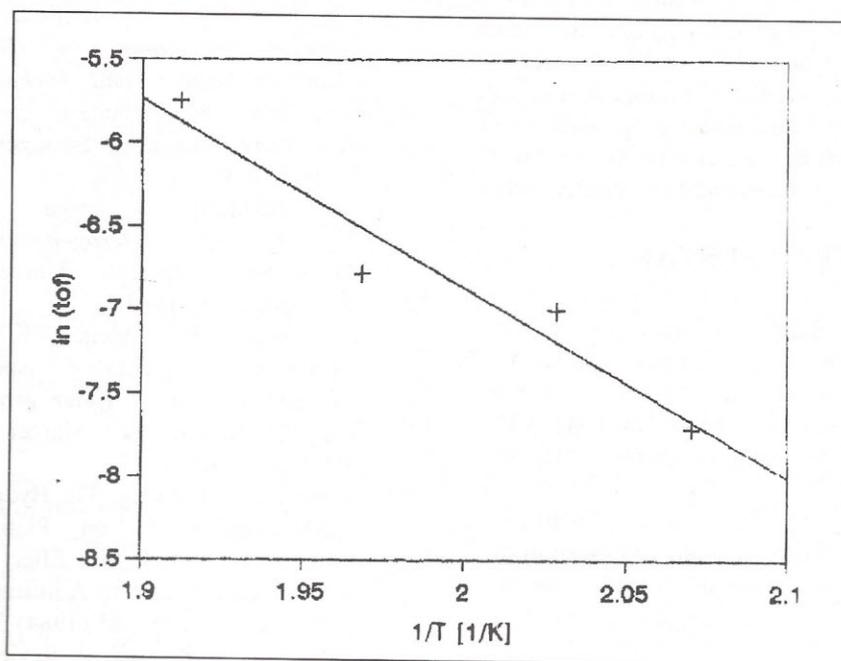
\* Literatur [10]



Gambar 4. Posisi molekul MSP pada bidang batas permukaan katalis.



Gambar 5. Perubahan kuantitas senyawa umpan dan produknya dalam sistem reaksi pada 210°C.



Gambar 6. Kurva Arrhenius untuk menentukan besar energi aktivasi ( $E_a$ ) reaksi hidrogenolisis MSP.

Dengan harga energi aktivasi yang rendah ini reaksi pembukaan cincin akan lebih sering berlangsung dibanding dengan hidrogenolisis rantai lurus seperti etana, propana maupun butana dan n-heksana dengan energi aktivasi lebih dari 140 kJ/mol [9].

## KESIMPULAN

Dari hasil percobaan diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Ukuran partikel logam katalis yang tersebar amat kecil ( $d = 1,1 \text{ nm}$ ), sehingga terdapat perbedaan yang cukup besar antara hasil pengukuran kimisorpsi hidrogen dan titrasi oksigen teradsorpsi dengan hidrogen.
2. Distribusi produk hidrogenolisis, yaitu n-H : 2-MP : 3-MP = 15 : 55 : 30 pada  $210^\circ\text{C}$  dan 20 : 50 : 30 pada  $235^\circ\text{C}$ , menunjukkan bahwa reaksi tidak sepenuhnya berlangsung pada permukaan partikel logam katalis, tetapi juga

pada bagian lainnya, misalnya pada bidang batas antara partikel logam dan bahan penyangga.

3. Pembentukan produk pada tahap awal reaksi tidak mempengaruhi kecepatan dan orde reaksi, hal ini terlihat dari orde reaksi hidrogenolisis MSP pada katalis 0,3% platina dengan penyangga  $\text{SiO}_2$  pada temperatur  $210 - 235^\circ\text{C}$  adalah nol.
4. Energi aktivasi yang kecil ( $E_a = 95 \text{ KJ/mol}$ ) menunjukkan bahwa reaksi pembukaan cincin relatif mudah berlangsung dibandingkan pembentukan isomer atau perengkahan produk- produknya dengan energi aktivasi yang jauh lebih besar ( $E_a > 140 \text{ KJ/mol}$ ), sehingga pada temperatur  $210^\circ\text{C}$  dan  $235^\circ\text{C}$  hanya n-heksana, 2-metilpentana dan 3-metilpentana yang terbentuk.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Percobaan yang hasilnya disampaikan dalam makalah ini dilakukan penulis di Institut fuer Physikalische Chemie, Universitaet Innsbruck, Austria. Ucapan terima kasih disampaikan kepada P3KT yang telah memungkinkan penulis untuk melaksanakan studi di Austria serta kepada Dr. R. Kramer yang telah membimbing penulis dalam studinya.

## DAFTAR PUSTAKA

1. R. Kramer, H. Zuegg, *The Hydrogenolysis of Methylcyclopentane on Platinum : Influence of the Support on the Particle Size Effect*, 8th Int. Congr. Catalysis, West Berlin, 1984, Vol. 5, Verlag Chemie, Weinheim, 275-286 (1984).
2. R. Kramer, M. Fischbacher, Hydrogen Pretreatment Effects on the Hydrogenolysis of Methylcyclopentane on Pt/SiO<sub>2</sub> and Pt/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Catalysts, *J. Mol. Catal.*, 51, 247-259 (1989).
3. R. Kramer, M. Fischbacher, H. L. Gruber, Slow Uptake of Oxygen and Carbon Monoxide by Platinum/Silica (EUROPT-1) and Subsequent Effects on Hydrogenation of Benzene and Hydrogenolysis of Methylcyclopentane, *Appl. Catal.*, 42, 337-350 (1988).
4. R. Kramer, H. Zuegg, The Hydrogenolysis of Methylcyclopentane on Platinum Model Catalysts : Particle Size Effects Due to a Reaction Occuring at the Phase Boundary Metal-Support, *J. Catal.*, 80, 446-456 (1983).
5. G. L. C. Maire, F. G. Garin, *Metal Catalysed Skeletal Reactions of Hydrocarbons, Catalysis Science and Technology*, J. R. Anderson, M. Boudart (eds.), Berlin, Heidelberg, New York, Springer, Vol. 6, 161-226 (1984).
6. M. Boudart, G. Djega Mariadassou, *Kinetics of Heterogeneous Catalytic Reactions*, Princeton University Press, Princeton, N.J., 1984.
7. J. L. Maitre, P. G. Menon, F. Delaney, The Measurements of Catalyst Dispersion, dalam *Charakterization of Heterogeneous Catalysts*, F. Delaney (ed.), Marcel Dekker, New York, 299-365 (1987).
8. R. Kramer, H. Zuegg, The Hydrogenolysis of Methylcyclopentane on Platinum Model Catalysts II: Particle Size Effect on Platinum/Silica Catalysts Due to Adlineation of Platin and Silica, *J. Catal.*, 85 (1984) 530.
9. G. C. Bond, Z. Paál, A Review : Recently Published Work on EUROPT-1, a 6% Pt/SiO<sub>2</sub> Reference Catalyst, *Appl. Catal. A*, 86, 1-35 (1992).
10. H. Haerudin, R. Schennach, *Aktivitaets- und Reaktivitaetsuntersuchungen des Platin-Katalysators*, hasil yang tidak dipublikasikan.