

The Cracking of 1-Octadecanol Into Short Chain Alkane and Alkene Compounds

Donatus Setyawan Purwo Handoko^{1*}, Triyono²

Universitas Jember

Universitas Gajah Mada

Corresponding Author: Donatus Setyawan Purwo Handoko

kreka_zeolit@yahoo.com

ARTICLE INFO

Kata Kunci: Fluid Fixed Bed Reactor, 1-Oktadecanol

Received : 3 November

Revised : 18 December

Accepted: 20 January

©2025 Handoko, Triyono: This is an open-access article distributed under the terms of the [Creative Commons Atribusi 4.0 Internasional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).



ABSTRACT

Research has been carried out on the cracking mechanism of 1-octadecanol into short chain alkane and alkene compounds using a cracking technique using a Fluid Fixed Bed reactor, which is operated at temperatures between 450 oC to 500 oC for 30 minutes. The catalyst is positioned so that the feed vapor passes through a number of catalysts. The resulting product was analyzed using GC-MS. The results obtained are as follows. With the Ni/ZSiA catalyst, the catalytic hydrogenation of 1-octadecanol to 1-octadecene reached 20.21 percent, 5-octadecene reached 14.37 percent, and 9-octadecene reached 10.40 percent. The main product of catalytic hydrogenation is 1-octadecene. The results obtained at a hydrogen flow rate of 10 mL/minute and a temperature of 450 oC produce maximum alkane and alkene products < C12 (15.29%)

Perengkahan 1-Oktadekanol menjadi Senyawa Alkane dan Alkena Rantai Pendek

Donatus Setyawan Purwo Handoko^{1*}, Triyono²

Universitas Jember

Universitas Gajah Mada

Corresponding Author: Donatus Setyawan Purwo Handoko

kreka_zeolit@yahoo.com

ARTICLE INFO

Kata Kunci: Fluid Fixed Bed Reactor, 1-Oktadecanol, 1-Oktadecene

Received : 3 November

Revised : 18 December

Accepted: 20 January

©2025 Handoko, Triyono: This is an open-access article distributed under the terms of the [Creative Commons Atribusi 4.0 Internasional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).



ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian mengenai mekanisme perengkahan 1-oktadekanol menjadi senyawa alkane dan alkene rantai pendek dengan teknik perengkahan menggunakan reactor Fluid Fixed Bed, yang dioperasikan pada temperature antara 450 oC hingga 500 oC selama 30 menit. Katalis ditempatkan sedemikian sehingga uap umpan melewati sejumlah katalis. Produk yang duhasilkn dianalisis menggunakan GC-MS. Hasil yang di peroleh adalah sebagai berikut Produk utama hidrogenasi katalitik 1-oktadekanol menjadi 1-oktadekena mencapai 20,21 %, menjadi 5-oktadekena mencapai 14,37 % dan menjadi 9-oktadekena mencapai 10,40 %. Hidrorengkah katalitik 1-oktadekena dengan katalis Ni/ZSiA pada variasi laju alir hidrogen diperoleh hasil pada laju alir hidrogen 10 mL/menit dan temperatur 450 oC dihasilkan produk alkane dan alkena < C12 yang maksimal (15,29 %)

PENDAHULUAN

Sementara banyak peneliti telah melakukan penelitian tentang bagaimana minyak sawit alami dapat diubah menjadi biofuel, sebagian besar penelitian mereka berkonsentrasi pada proses konversi minyak sawit alami secara langsung menjadi bahan dasar. Penelitian yang berkaitan dengan konversi oleat, yang merupakan komponen utama dari minyak sawit, belum pernah dilakukan secara sistematis. Peneliti ingin menyelidiki bagaimana 1-oktadekanol berubah menjadi biogasoline, yang merupakan senyawa alkana rantai pendek. Senyawa murni digunakan sebagai model tahapan reaksi dalam penelitian ini untuk keperluan itu. Berikut adalah hasil dari reaksi tersebut:

1. Dalam reaktor sistem bed tetap, 1-oktadekanol hidrogenasi dengan katalis ZSiA.
2. Senyawa 1-oktadekena hidrorengkah dengan katalis Ni/ZSiA, yang menghasilkan senyawa alkana dan alkena rantai pendek (< C12).

TINJAUAN PUSTAKA

1. Perengkahan (Cracking) Senyawa Organik

Perengkahan adalah proses pemecahan molekul besar menjadi molekul yang lebih kecil, baik itu senyawa alkana, alkena, atau senyawa lain yang lebih sederhana. Reaksi ini biasanya dilakukan dengan menggunakan panas atau katalis. Dalam konteks perengkahan 1-oktadekanol, perengkahan ini akan menghasilkan senyawa alkana dan alkena, yang merupakan produk yang lebih sederhana dan sering digunakan dalam industri kimia.

2. Mekanisme Perengkahan 1-Oktadekanol

1-Oktadekanol (C₁₈H₃₈O) adalah senyawa alkohol jenuh yang memiliki rantai karbon panjang. Perengkahan alkohol ini bisa berlangsung melalui beberapa tahapan:

- a) Dekarboksilasi: Pelepasan gugus karboksil (COOH) pada molekul 1-oktadekanol dapat menghasilkan senyawa dengan rantai karbon yang lebih pendek.
- b) Dehidrogenasi: Dalam kondisi tertentu, 1-oktadekanol bisa terdehidrogenasi menjadi senyawa alkena.
- c) Pemecahan Radikal: Penggunaan katalis atau suhu tinggi dapat memecah ikatan C-C dalam rantai panjang, menghasilkan molekul alkana dan alkena.

3. Produk Alkana dan Alkena

Dalam perengkahan 1-oktadekanol, produk yang dihasilkan meliputi:

- a) Alkana: Senyawa hidrokarbon jenuh yang lebih pendek, seperti heksana, oktana, atau dodekana.
- b) Alkena: Senyawa hidrokarbon tak jenuh yang memiliki satu ikatan rangkap, seperti etilena, propilena, atau butilena, yang dapat digunakan untuk berbagai aplikasi industri, termasuk sebagai bahan baku untuk produksi plastik.

4. Katalis yang Digunakan dalam Perengkahan

Perengkahan 1-oktadekanol seringkali dilakukan dengan menggunakan katalis untuk meningkatkan laju reaksi dan selektivitas produk. Beberapa jenis katalis yang dapat digunakan termasuk:

- Katalis Asam: Seperti asam sulfat (H_2SO_4) yang dapat mempercepat dehidrasi alkohol dan pemecahan ikatan C-C.
- Katalis Logam: Seperti nikel atau platinum yang digunakan dalam proses dehidrogenasi untuk menghasilkan alkena.

5. Faktor yang Mempengaruhi Perengkahan

- Suhu: Suhu tinggi dapat memecah ikatan dalam rantai karbon panjang, menghasilkan produk yang lebih kecil.
- Waktu Reaksi: Waktu yang lebih lama dapat menghasilkan lebih banyak produk yang diinginkan, tergantung pada kondisi dan katalis yang digunakan.
- Katalis dan Kondisi Reaksi: Penggunaan katalis dapat meningkatkan efisiensi dan selektivitas reaksi perengkahan.

6. Aplikasi Industri Produk Perengkahan

Produk hasil perengkahan 1-oktadekanol, seperti alkana dan alkena rantai pendek, memiliki banyak aplikasi industri, antara lain:

- Bahan Baku Industri Kimia: Alkana dan alkena digunakan sebagai bahan baku untuk pembuatan plastik, pelarut, dan bahan kimia lainnya.
- Bahan Bakar: Alkana, khususnya yang memiliki rantai karbon lebih pendek, sering digunakan sebagai komponen bahan bakar.

7. Penelitian Terkait

Penelitian terbaru tentang perengkahan alkohol panjang, termasuk 1-oktadekanol, banyak berfokus pada:

- Peningkatan efisiensi reaksi perengkahan.
- Penggunaan katalis baru yang lebih ramah lingkungan.
- Pemahaman lebih lanjut tentang mekanisme reaksi yang terlibat dalam proses perengkahan.

METODOLOGI

Berikut ini adalah bahan dan peralatan yang diperlukan untuk menyelesaikan penelitian ini:

A. Bahan yang diperlukan

Dalam penelitian ini, bahan yang digunakan adalah zeolit alam Wonosari dari PT Prima Zeolita, yang dibuat oleh E.Merck. Bahan-bahan ini memiliki kualitas p.a. seperti 1-oktadekanol 95 %, 1-oktadekena 90 %, HCl 37 % (v/v), HF 40 % (v/v), NH_4Cl , Na_2SiO_3 , dan $Ni(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ 97 %. Selain itu, bahan tambahan seperti gas samator oksigen, nitrogen, dan hidrogen

B. Peralatan yang diperlukan

Peralatan yang diperlukan untuk penelitian ini termasuk neraca analitik (Mettler RE 200), spektroskopi serapan atom (AAS, Varian FS 220), GC-MS (Shimadzu QP-2010S), detektor permukaan NOVA 1000 (Quantachrome Nova Win2 versi 2.2), oven, hotplate, alat gelas laboratorium, dan difraktometer sinar-X (XRD, Shimadzu-6000).

C. Operasional penelitian

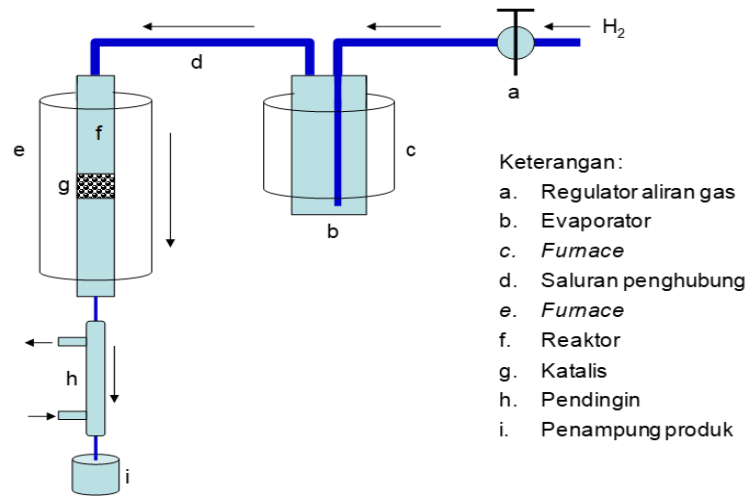
C.1 Pembuatan katalis Ni/ZSiA

Zeolit 100 mesh ukuran lolos direndam dalam akuades dan dicuci sambil diaduk. Setelah itu, direndam dengan HF 2 % selama 30 menit, dicuci dengan akuades hingga 3 kali, dan kemudian dikeringkan selama 3 jam dalam oven yang dipanaskan pada 120 derajat Celcius. Kemudian dioksidasi dengan oksigen pada suhu 500 oC selama dua jam dan dikalsinasi dengan nitrogen pada suhu 500 oC selama dua jam dengan laju alir gas 20 mL/menit, sehingga diperoleh katalis Z (Handoko, 2001). Perbedaan antara zeolit dan larutan HCl = 1 : 2 (v/v) selama 20-30 menit, dan kemudian sampel zeolit dicuci dengan akuades hingga pHnya mencapai 7,0 (Zhang, 1999). dan dilanjutkan dengan oksidasi dengan menggunakan gas oksigen dengan laju alir 20 mililiter per menit pada suhu 500 oC selama dua jam dan kalsinasi dengan gas nitrogen dengan laju alir 20 mililiter per menit pada suhu 500 oC selama dua jam. Selanjutnya, katalis Z dalam gelas beker ditambahkan 5% (w/w) natrium silikat (Na_2SiO_3) yang telah dilarutkan ke dalam akuades. Selama 24 jam, pengaduk magnes digunakan untuk memanaskan katalis pada suhu Setelah sampel didinginkan, proses oksidasi dimulai dengan gas oksigen pada suhu 500 derajat Celcius selama dua jam dengan laju alir gas 20 mililiter per menit, dan kemudian kalsinasi dengan gas nitrogen pada suhu 500 derajat Celcius selama dua jam dengan laju alir gas 20 mililiter per menit. Akibatnya, katalis ZSi dihasilkan.

Setelah katalis ZSi didinginkan, larutan NH_4Cl 2 M ditambahkan ke dalam gelas beker dengan perbandingan 1:2 (v/v). Selama empat jam, campuran dipanaskan kembali pada 90 oC dengan pengaduk magnet. Setelah itu didinginkan, dilanjutkan dengan proses oksidasi. Gas oksigen digunakan pada suhu 500 oC selama dua jam dengan laju alir gas 20 mL/menit dan gas nitrogen digunakan untuk kalsinasi pada suhu 500 oC selama dua jam dengan laju alir gas 20 mL/menit untuk menghasilkan katalis ZSiA. Metode impregnasi basah digunakan untuk melapisi permukaan katalis ZSiA. 9.91 gram garam $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ dicampur dengan 100 mL akuades dan diaduk hingga rata. Kemudian, sampel (katalis ZSiA) sebanyak 100 mL ditambahkan. Kemudian dipanaskan dan diuapkan pada 80 hingga 90 oC (pada 1 atm) sambil diaduk sehingga bagian air secara perlahan-lahan teruapkan. Setelah air teruapkan, sampel dimasukkan ke dalam oven selama dua jam pada suhu 120 oC dan dioksidasi dengan gas oksigen pada suhu 500 oC dengan aliran 20 mL/menit dan reduksi pada 500 oC dengan gas hidrogen 20 mL/menit, sehingga didinginkan.

C.2. Teknik Operasional Peralatan Perengkahan

Sejumlah katalis dengan berat tertentu dimasukkan ke dalam kolom reaktor bed tetap dan kemudian dipanaskan hingga 400 oC. Selanjutnya, sejumlah umpan dialiri hidrogen dengan laju alir 20 mL/menit, sehingga 10 gram senyawa umpan (metil 9-oktadekenoat) melewati katalis. Proses ini berlangsung selama tiga puluh menit. GC-MS digunakan untuk menganalisis produk yang dihasilkan.



Gambar 1. Peralatan Perengkahan

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

1. Energi aktivasi untuk reaksi 1-oktadekanol menjadi 1-oktadekena

Parameter kinetik yang ditentukan pada reaksi hidrogenasi katalitik 1-oktadekanol, dalam penelitian ini adalah Reaksi hidrogenasi katalitik mengandung energi aktivasi, laju, dan konstanta reaksi. 1-oktadekanol dilakukan pada temperatur 400 oC, 450 oC dan 500 oC. Parameter kinetik tersebut dapat ditentukan dengan mengamati berkurangnya reaktan (1-oktadekanol) dalam interval waktu tertentu pada temperatur reaksi yang tetap.

Reaksi hidrogenasi katalitik senyawa 1-oktadekanol dapat diasumsikan sebagai reaksi orde satu. Keadaan ini disebabkan karena jumlah hidrogen yang digunakan dalam reaksi tersebut eksek dibandingkan dengan umpan senyawa 1-oktadekanol. Sehingga reaksi hidrogenasi 1-oktadekanol dengan jumlah hidrogen yang eksek dapat diasumsikan sebagai reaksi orde satu terhadap senyawa 1-oktadekanol.

$$\text{laju} = k [\text{1-oktadekanol}] [\text{H}_2]$$

H_2 berlebihan

$$\text{laju} = k [\text{1-oktadekanol}]$$

Berdasarkan hasil percobaan didapat besarnya konstanta reaksi hidrogenasi katalitik senyawa 1-oktadekanol pada suhu reaksi 400, 450 dan 500 oC dapat ditabelkan seperti pada Tabel1.

Tabel 1. Konstanta Laju Reaksi Hidrogenasi Katalitik Senyawa 1-Oktadekanol Pada Berbagai Temperatur

Temperatur (°C)	T (K)	k (T)
400	673,15	0,0105
450	723,15	0,0233
500	773,15	0,0165

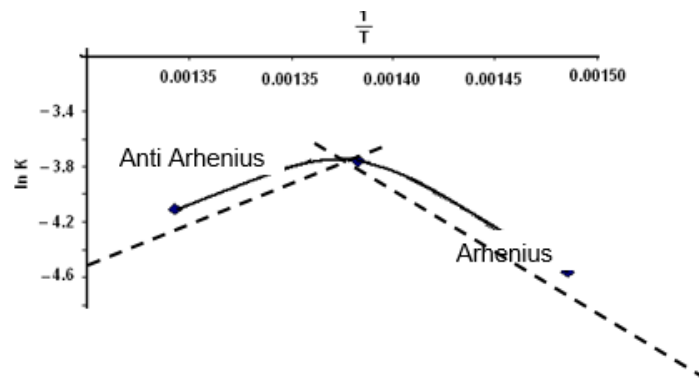
Menurut Arrhenius, hubungan antara konstanta laju reaksi dengan temperatur adalah sebagai berikut :

$$k = A.e^{-\frac{Ea}{RT}}$$

Sehingga

$$\ln k = -\frac{Ea}{RT} + \ln A$$

Pada temperatur 500 °C, karena Ea tetap untuk reaksi, A berkurang sangat besar dengan naiknya temperatur sehingga pada temperatur 500 °C sudah tidak mengikuti persamaan Arrhenius, dan Ea ditentukan dari temperatur 400 °C hingga 450 °C. Maka dengan membuat grafik ln k lawan 1/T akan diperoleh nilai Ea.



Gambar 2. Hubungan antara Ln K Lawan 1/T dalam Reaksi Hidrogenasi Katalitik 1-Oktadekanol

Sehingga berdasarkan Gambar 2 diperoleh besarnya Ea reaksi hidrogenasi katalitik 1-oktadekanol yang mengikuti persamaan Arrhenius adalah 64,520 kJ/mol. Sehingga reaksi hidrogenasi katalitik 1-oktadekanol pada daerah temperatur 400 oC hingga 450 oC mengikuti aturan Arrhenius, dan pada temperatur 450 oC hingga 500 oC menunjukkan anti Arrhenius.

2. Reaksi katalitik 1-oktadenol menjadi 1-oktadekena

Pada umumnya, reaksi katalitik senyawa alkohol dengan katalis ZSiA pada temperatur yang relatif tinggi (400 oC) menghasilkan senyawa alkena. Ini karena reaksi hidrogenasi katalitik 1-oktadekanol dengan katalis ZSiA pada temperatur 400 oC menghasilkan banyak senyawa alkena dan alkana.

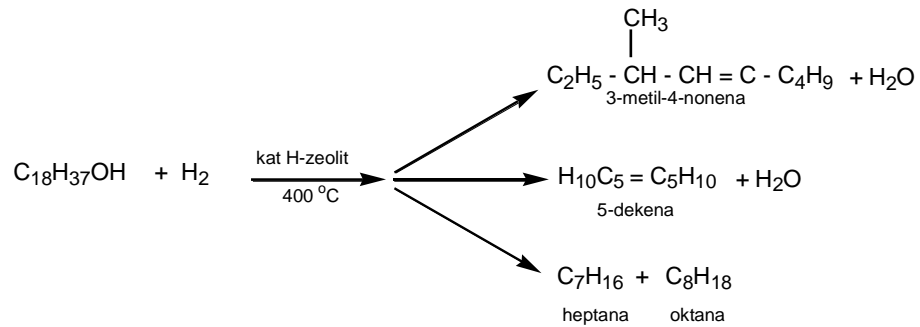
Tabel 2. Produk Reaksi Hidrogenasi Katalitik Senyawa 1-Oktadekanol menjadi Senyawa Fraksi Pendek (< C11) pada Temperatur 400 oC

Nama senyawa	Waktu retensi (menit)	Jumlah (%)
Benzena, 1,2 dimetil o-xylen	3,22	0,48
4-etil-3-heptena	3,95	0,53
4-nonena	3,469	1,05
Heptane	3,645	0,31
2-nonena	3,645	0,26
2,4,6-trimetil-3-heptena	3,767	0,16
5-metil-4-nonena	3,932	0,40

2-metil-3-nonena	4,072	0,50
5-dekena	4,167	0,41
9-metil-1-dekena	4,235	0,58
Oktana	4,371	0,52
5-dekena	4,450	1,94
2-metil-2-dekena	4,817	0,65
1,3,5-trimetil-benzena	4,951	0,60
2-dekena	5,150	0,16
5-metil 1-dekena	5,587	0,27
3-metil 4-dekena	5,825	0,59
1-dekena	6,112	0,33
5-metil 4-dekena	6,259	0,99
5-metil 1-dekena	6,595	0,19
2,6-dimetil 1-oktena	6,731	0,47
5-undekena	6,924	0,94
2-metil 2-dekena	7,041	0,49
4-undekena	7,251	0,27
Metil (1-metiletil) benzena	7,899	0,14
7-metil 3-undekena	8,425	0,15
2-metil 3-undekena	9,821	0,47
1-etil 2-heptil siklopropana	10,074	0,20
1,2-dietil siklooktana	10,360	0,10
1-heksil 2-propil siklopropana	12,467	0,10
Jumlah		14,25

3. Mekanisme reaksi katalitik hidrogenasi 1-oktadekenaol menjadi alkena dan alkana rantai yg lebih pendek

Berdasarkan Tabel V.1 dapat disimpulkan bahwa hidrogenasi katalitik senyawa 1-oktadekanol dihasilkan senyawa alkena cukup banyak dan beberapa jenis senyawa alkana. Perolehan senyawa alkana yang relatif lebih sedikit dari senyawa alkena kemungkinan disebabkan proses hidrogenasi yang kurang sempurna, seperti jumlah hidrogen yang dialirkan secara kuantitatif kurang banyak atau kemungkinan perlu peningkatan tekanan gas hidrogen sehingga jumlah hidrogen cukup berlimpah dan proses fisisorpsi diharapkan cukup efektif. Selanjutnya diharapkan terjadi tumbukan antara gas hidrogen dengan reaktan yang secara kuantitatif meningkat dan efektif, yaitu senyawa 1-oktadekanol atau produk senyawa alkena dengan gas hidrogen, antara reaktan dengan reaktan yang diumpangkan.



Gambar 2. Variasi Beberapa Produk Reaksi Hidrogenasi Katalitik 1-Oktadekanol menggunakan Katalis Zsia pada Temperatur 400 oC

Sifat fisik yang ditunjukkan hasil reaksi hidrogenasi katalitik 1-oktadekanol dengan katalis ZSiA antara lain sangat mudah terbakar, berbau seperti bahan bakar premium (bensin), berwarna kuning bening, sangat mudah menguap (volatile).

Tabel 3. Produk Reaksi Hidrogenasi Katalitik Senyawa 1-Oktadekanol menjadi Senyawa Fraksi Pendek (< C11) Pada Temperatur 400 oC

Nama senyawa	Waktu retensi (menit)	Jumlah (%)
Benzena, 1,2 dimetil o-xylen	3,22	0,48
4-etil-3-heptena	3,95	0,53
4-nonena	3,469	1,05
Heptane	3,645	0,31
2-nonena	3,645	0,26
2,4,6-trimetil-3-heptena	3,767	0,16
5-metil-4-nonena	3,932	0,40
2-metil-3-nonena	4,072	0,50
5-dekena	4,167	0,41
9-metil-1-dekena	4,235	0,58
Oktana	4,371	0,52
5-dekena	4,450	1,94
2-metil-2-dekena	4,817	0,65
1,3,5-trimetil-benzena	4,951	0,60
2-dekena	5,150	0,16
5-metil 1-dekena	5,587	0,27
3-metil 4-dekena	5,825	0,59
1-dekena	6,112	0,33
5-metil 4-dekena	6,259	0,99
5-metil 1-dekena	6,595	0,19
2,6-dimetil 1-oktana	6,731	0,47
5-undekena	6,924	0,94
2-metil 2-dekena	7,041	0,49
4-undekena	7,251	0,27
Metil (1-metiletil) benzena	7,899	0,14

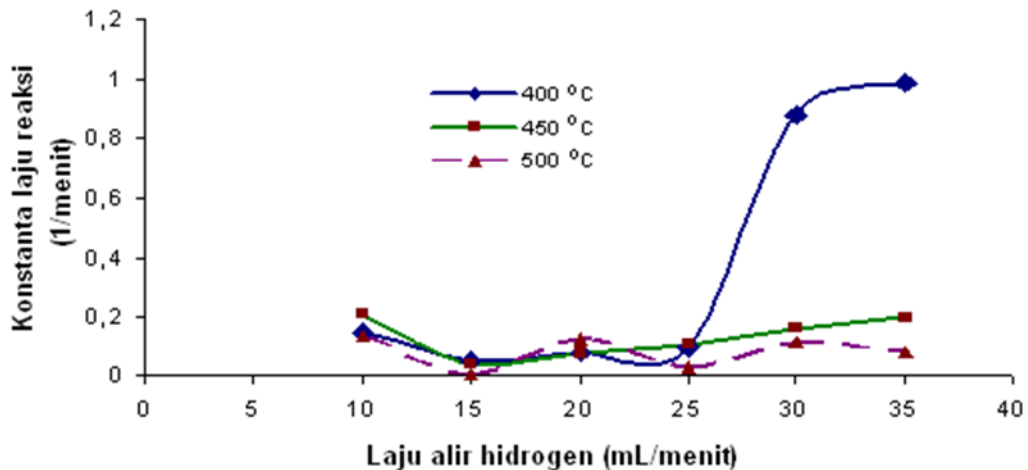
7-metil 3-undekena	8,425	0,15
2-metil 3-undekena	9,821	0,47
1-etil 2-heptil siklopropana	10,074	0,20
1,2-dietil siklooktana	10,360	0,10
1-heksil 2-propil siklopropana	12,467	0,10
Jumlah		14,25

Laju reaksi (v) hidrogenasi katalitik senyawa 1-oktadekanol dengan katalis ZSiA pada 400 oC umumnya menghasilkan senyawa alkena karena mekanisme "Horiuti-Polanyi" menghasilkan senyawa alkena. mengukur perubahan berat reaktan senyawa 1-oktadekena pada rentang waktu tertentu. Pada umumnya semakin tinggi temperatur reaksi yang diberikan, pada laju hidrogen yang tetap, maka laju reaksi akan semakin cepat yang ditandai dengan semakin banyak jumlah produk yang dihasilkan atau penurunan jumlah reaktan dalam rentang waktu tertentu.

$$\ln k = -\frac{E_a}{RT} + \text{konst}$$

$$v = \frac{d[1\text{-oktadekena}]}{dt} = -k[1\text{-oktadekena}][H_2]$$

$$v = f(T, [1\text{-oktadekena}], [H_2])$$

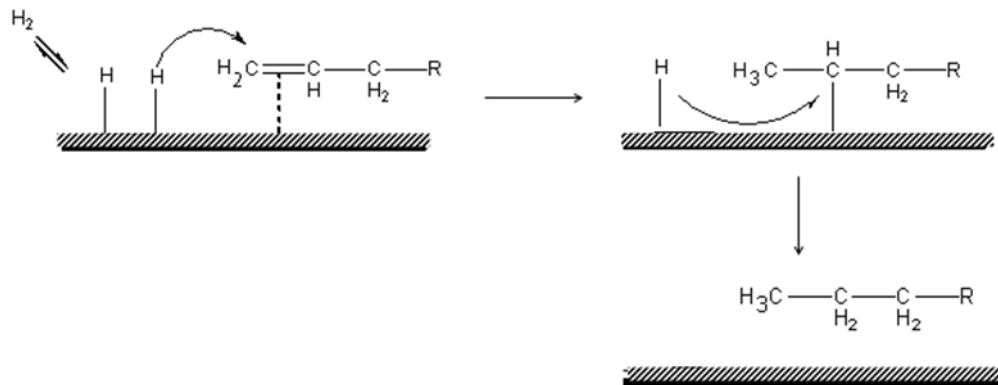


Gambar 3. Pengaruh Laju Alir Hidrogen Terhadap Konstanta Laju Reaksi Pada Temperatur 400, 450 Dan 500 Oc

Berdasarkan Gambar V.4 pada laju alir hidrogen Dengan kecepatan 30 mL/menit dan 35 mL/menit pada temperatur reaksi 400 oC, laju reaksi meningkat, yang ditunjukkan dengan harga konstanta laju reaksi yang meningkat. Keadaan ini dapat dijelaskan sebagai berikut:

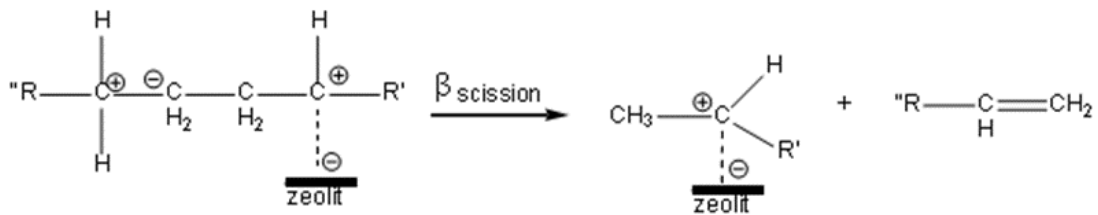
1. Proses adsorpsi baik fisorpsi maupun kemisorpsi reaktan 1-oktadekena dan hidrogen mencapai keadaan ideal, sehingga hidrogen dapat berinteraksi dengan ikatan rangkap pada senyawa 1-oktadekena

dipermukaan katalis, dan selanjutnya tumbukan dapat berlangsung dengan efektif.



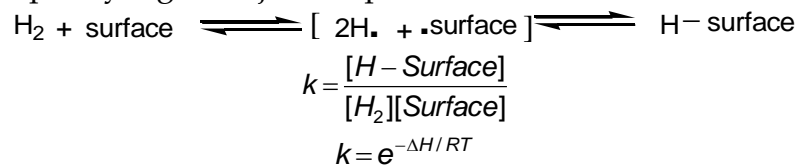
Gambar 4. Mekanisme Hidrogenasi 1-Oktadekena pada Pembukaan Ikatan Rangkap Adalah Mekanisme "Horiuti-Polanyi"

Setelah reaksi adisi, atau pembukaan ikatan rangkap, terjadi pada senyawa 1-oktadekena, dapat terjadi reaksi pemutusan rantai panjang menjadi rantai pendek. Seperti yang ditunjukkan dalam mekanisme yang digambarkan pada Gambar V.6, alkana dan alkena rantai pendek dapat menjadi produk pemutusan ikatan rantai panjang tersebut, menurut Campbell (1988).



Gambar 5. Senyawa Alkena Rantai yang Lebih Pendek Dihasilkan Karena Alkana Berinteraksi dengan Permukaan Katalis

Pada proses fisisorpsi hidrogen ke permukaan katalis berdasarkan Gambar V.6 di atas maka semakin banyak hidrogen yang dialirkan pada temperatur 400 oC akan terjadi Proses fisisorpsi optimal terdiri dari peningkatan jumlah peristiwa kondensasi hidrogen ke permukaan katalis, yang diikuti oleh disosiasi dan migrasi. Proses ini meningkatkan kemungkinan hidrogen teradsorpsi dengan senyawa 1-oktadekena teradsorpsi pada permukaan katalis secara kinetik, seperti yang ditunjukkan pada Gambar V.5 dan V.6.



2. pada laju alir hidrogen 30 mL/menit dan Pada konsentrasi 35 mL/menit pada temperatur reaksi 400 oC, diperkirakan terbentuk sejumlah radikal bebas hidrogen. Ini meningkatkan kemungkinan interaksi antara radikal bebas dengan senyawa 1-oktadekanol, yang menghasilkan produk reaksi yang ditandai dengan peningkatan konstanta laju reaksi

- Brands, D.S., Poels, E.K., Dimian, A.C. and Blik, A., 2002, Solvent-Based Fatty Alcohol Synthesis Using Supercritical Butane : Flowsheet Analysis and Proses Design, *J. Am. Chem.*, Vol 79 (1).
- Campbell, I. M., 1988, *Catalysts at Surfaces*, Chapman and Hall Ltd., New York.
- Claus, J.H.J., Claus M., Jindrich H., Iver S. and Anna C., 2000, Mesoporous Zeolite Single Crystals, *J. Am. Chem. Soc.*:122, 7116-7117
- Demirbas, A. 2003. "Biodiesel fuels from vegetable oils via catalytic and non-catalytic supercritical alcohol transesterifications and other methods: a survey". *Energy Convers. Manage.*, 44, 2093-2109.
- Demirbas, A., 2003, Fuel Conversional Aspect of Palm Oil and Sunflower, *Energy Sources J.*, 5, 25, 154-167.
- Demirbas, A., 2006, Biodiesel Production Via Non Catalytic SCF Method and Biodiesel Fuel Characteristics, *Energy Convers. Manage.*, 47, 15-16, 2271 - 2282.
- Derouane, E.G., 1992, *Zeolite Microporous Solids: Synthesis, Structure, and Reactivity*, Kluwer Academic Publishers, London.
- Dolbear, G.E, 1998, *Hydrocracking: Reactions, Catalysts, and Processes*, in *Petroleum Chemistry and Refining*, Taylor & Francis, Washington, D.C.
- Dyer, A., 1988, *An Introduction to Zeolite Molecular Sieves*, John Wiley and Sons Ltd., Chichester.
- Gasser, R.P.H., 1987, *An Introduction to Chemisorption and Catalysis by Metal*, Oxford Science Publication, Oxford.
- Gates, B.C. 1979. *Catalytic Chemistry*, John Wiley and Sons Inc., New York.
- Hamdan, H., 1992, *Introduction to Zeolites: Synthesis, Characterization, and Modification*, Universiti Teknologi Malaysia, Penang.
- hang, W. and Smirniotis, P.G., 1999, Effect of Zeolite Structure and Acidity on the Product Selectivity and Reaction Mechanism for n-Octane Hydroisomerization and Hydrocracking, *J. Catal.*, 182, 400-416.
- Harber, J., 1991, Manual on Catalyst Characterization, *Pure and Appl. Chem.*, 63, 9, 1227-1246.
- Khan, A. K., 2002, *Research into Biodiesel, Kinetics & Catalyst Development*, Department of Chemical Engineering, The University of Queensland, Brisbane.
- Knothe, G., 2000, Monitoring a Progressing Transesterification Reaction by Fiber-Optic Near Infrared Spectroscopy with Correlation to ¹H Nuclear Magnetic Resonance Spectroscopy, *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 77, 94, 489-493.
- Knothe, G., Dunn, R. O., and Bagby, M. O., 1997, *Biodiesel: The Use of Vegetable Oils and Their Derivatives as Alternative Diesel Fuels*, *Fuels and Chemicals from Biomass*, ACS Symposium Series, V, 666.
- Lowell, S. and. Shields, J.E, 1984, *Powder Surface Area and Porosity*, 2nd edition, Chapman and Hall, New York.
- May, C. Y., 2004, Transesterification of Palm Oil: Effect of Reaction Parameters, *J. Oil Palm Res.*, 16, 2, 1-11.
- nothe, G., 2005, Dependence of Biodiesel Fuel Properties on the Structure of Fatty Acid Alkyl Esters, *Fuel Process. Technol.*, 86, 1059- 1070.

- Page Le, J. F., Cosyns, J. and Courty, P., 1987, *Applied Heterogenous Catalyst*, edisi 1987, Imprimerie Nouvelle, Saint Jean de Braye, Paris.
- Perry, R.H. dan Green, D.W., 1997, *Perry's Chemical Engineer's Handbook*, Mc.Graw-Hill Companies. Inc., New York.
- Rajeshwer, D., Sreenivasa Rao, G., Krishnamurthy, K., R., Padmavathi, G., Subrahmanyam, N. dan Jagdish, D. Rachh, 2006, Kinetics of Liquid - Phase Hydrogenation of Straight Chain C10 to C13 Di-Olefins Over Ni/Al₂O₃ Catalyst, *International Journal of Chaemical Reactor Engineering*, Vol. 4, Article A17
- Ramesh, B.D., 2000, Hydrogenation of 1-alkenes Catalysed by Anchored Montmorillonite Palladium (II) Complexes : a Kinetic Study, *Trans. Met. Chem*, 25, 6, 639-643.
- Sang, O.Y., 2003, Biofuel Production From Catalytic Cracking of Palm Oil, *Energy Sources J*, 9, 25.
- Santos, L.T., 2003, Nickel Activation for Hydrogenolysis Reaction on USY Zeolite, *Catal. Lett.* 92, 81.
- Satterfield, C.N., 1980, *Heterogenous Catalysis in Practices*, McGraw-Hill Book Co., New York.
- Sibilia, J.P., 1996, *A Guide to Materials Characterization and Chemical Analysis*, 2nd Edition. VCH Publishers, Inc., New York.
- Treacy, M.M.J., and Higgins, J.B., 2001, *Collection of Simulated XRD Powder Patterns for Zeolite*, Elsevier, Amsterdam.
- Twaiq, F.A.A, Zabidi NAM dan Bhatia S., 1999, Catalytic Conversion of Palm Oil to Hydrocarbon: Performance of Various Zeolite Catalyst, *Ind. Eng. Chem. Res.* 38: 3230-3237.
- Twaiq, F.A.A. and Bhatia, S., 2001, Catalytic Cracking of Palm Oil Over Zeolite Catalysts: Statistical Approach, *IIUM Engineering Journal*, Vol 2, No 1, Hal 13-21
- Twaiq, F.A.A., Asmawati Noor M. Zabidi, Abdul Rahman Mohamed and Subhash Bhatia, 2003, Catalytic Conversion of Palm Oil Over Meso Porous Aluminosilicate MCM 41 for The Production of Liquid Hydrocarbon Fuel, *Fuel Process Technol*, 84, 1-3, 105 - 120.
- Wu Jing, 2005, *Kinetics and Reactor Design*, Department of Chemical Engineering, Hong Kong.
- Yean Sang Ooi, Ridzuan Zakaria, Abdul Rahman Mohamed dan Subhash Bathia, 2004, Composite MCM-41/ZSM-5 as a Cracking Catalyst for Production of Liquid Fuel from Used Palm Oil, *The 4th Annual Seminar of National Science Fellowship*.
- Yoon, C., 1997, Hydrogenation of 1,3-butadiena on Platinum Surfaces of Different Structures, *Catal. Lett*, 46, 37.
- Zhilong Yao, 2008, *Research on Hydrogenation of FAME to Fatty Alcohol at Supercritical Conditions*, Beijing Institute of Petrochemical Technology, Beijing.