

HIDROGENASI 2-ETIL HEKSENAL BERKATALIS NIKEL: PENGARUH PENAMBAHAN LOGAM Cu DAN K TERHADAP AKTIVITAS KATALIS DENGAN STUDI STATISTIK

RIZKI ADITYA SP^{1*}

¹Jurusan Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Wanita Internasional,
Jalan Pasir Kaliki no 179A, Bandung

*alamat email korespondensi: rizkyaditya@iwu.ac.id

Informasi Artikel	Abstrak/Abstract
<p>Riwayat Naskah : Diterima pada 30 April 2021 Diterima setelah direvisi pada 27 Juni 2021 Diterbitkan pada 30 Juni 2021</p> <p>Kata Kunci: 2-etilheksanol; hidrogenasi; katalis berbasis nikel; konversi; selektivitas; studi statistik</p> <p><i>Keywords:</i> 2-Ethyl Hexanol; hydrogenation; nickel based catalyst; conversion; selectivity; statistic study</p>	<p>2-Etil Heksanol adalah salah satu bahan baku untuk pembuatan Dioctilphtalat (DOP) dan 1,2,4-Trioctyltrimelitat (TOTM), yang biasa digunakan untuk membuat Plasticizer pada industri Polyvinyl Chloride (PVC). Proses produksi 2-Etil Heksanol secara komersial saat ini menggunakan proses Oxo dengan bahan baku propilen dan gas sintesis (syngas) melalui pembentukan 2-Etil Heksenal sebagai senyawa antara. 2-Etil Heksenal kemudian dihidrogenasi menjadi 2-Etil Heksanol. Katalis komersial yang digunakan untuk proses hidrogenasi ini pada umumnya berbasis logam Nikel (Ni) karena logam tersebut dapat melangsungkan reaksi hidrogenasi secara selektif terhadap produksi 2-Etil Heksanol. Penelitian ini bertujuan untuk membuat katalis proses hidrogenasi 2-Etil Heksenal menjadi 2-Etil Heksanol berbasis logam Nikel dengan penambahan logam Cu dan K yang diimbangkan ke dalam penyangga alumina fosfat (AlP3) untuk meningkatkan aktivitas katalis (konversi, selektivitas) sehingga performanya dapat bersaing dengan katalis impor. Variasi yang digunakan dalam sintesis katalis meliputi variasi komposisi logam Ni (10% wt dan 20% wt), logam Cu (5% wt dan 10% wt), dan logam K (0,1% wt dan 0,5% wt). Katalis disintesis dengan menggunakan metode impregnasi kering dan dilakukan karakterisasi dengan metode BET (<i>Brunaure, Emmett, dan Teller</i>). Dari uji aktivitas kemudian dilakukan studi statistik mengenai pengaruh penambahan logam Cu dan K sebagai promotor katalis hidrogenasi. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa pengaruh logam Cu dan K sangat signifikan terhadap aktivitas katalis hidrogenasi terutama dalam peningkatan selektivitas ke arah produk 2-Etil Heksanol. Dari studi statistik, didapatkan komposisi terbaik untuk katalis hidrogenasi berbasis Ni dengan promotor Cu dan K ini adalah Ni 20% wt, Cu 2,97% wt, dan K 0,9% wt untuk mendapatkan aktivitas katalis paling baik yaitu konversi 99,99% dan selektivitas 99,77%.</p> <p><i>2-Ethyl Hexanol is one of the main ingredients used as raw materials for Dioctyl phthalate (DOP) and 1,2,4-Trioctyltrimelitate (TOTM) which also used for plasticizer manufacturing on industrial Polyvinyl Chloride. The production processes of 2-Ethyl Hexanol are commercially produced by the Oxo process with propylene and syngas as raw material through the formation of 2-Ethyl Hexenal as an intermediate. 2-Ethyl Hexenal then hydrogenated to 2-Ethyl Hexanol. The commercial catalyst used for the hydrogenation process is usually nickel (Ni) based. This research aims to synthesize the catalyst for the hydrogenation of 2-Ethyl Hexenal to produce 2-Ethyl Hexanol with nickel-based and also with the loading of Cu and K metal which embedded to phosphate alumina (AlP3) support to create the catalyst with good activity (conversion, selectivity) which the performance can be compared with imported catalyst. The variation that has been done in this research covers the metal loading composition for Ni (10% wt and 20% wt), Cu (5% wt and 10% wt), and K (0,1% wt and 0,5% wt). The synthesis of catalysts has been done with the dry impregnation method and the characterization was done with BET (Brunaure, Emmett, and Teller) method. Then, we will analyze the effect of Cu and K metal loading as catalyst promoters on the catalyst activity with a statistic study. The results showed that the effect of Cu and K metal loading is very significant to the catalyst activity especially to the increase of reaction selectivity to 2-Ethyl Hexanol product. From the statistic study, we got the best composition for hydrogenation catalyst based on Ni with Cu dan K as the promoter is Ni 20% wt, Cu 2,97% wt, and K 0,9% wt to achieve the best result inactivity which is conversion 99,99% and selectivity 99,77%.</i></p>

PENDAHULUAN

Saat ini industri kimia adalah salah satu industri yang sangat penting di dunia, di mana produk-produk hasil industri tersebut banyak digunakan oleh berbagai macam kalangan masyarakat di dalam kehidupan sehari-hari. Salah satunya adalah plastik, dimana plastik yang merupakan hasil pengolahan kimia sintesis saat ini adalah barang yang sangat penting terutama di kehidupan sehari-hari. Plastik sudah dapat dengan mudah menggantikan bahan seperti kayu dan logam dalam menunjang kehidupan umat manusia saat ini. Untuk membentuk plastik agar memiliki sifat kekenyalan hingga batas tertentu dibutuhkan suatu bahan penunjang yang disebut dengan Plasticizer.

Plasticizer dapat mengatur sifat kekenyalan dari plastik sehingga barang-barang produksi dari plastik mudah untuk dibentuk menjadi berbagai macam bentuk produk dan juga agar tidak mudah pecah ataupun patah. Beberapa bahan yang digunakan sebagai plasticizer adalah Dioctilphtalat (DOP) dan 1,2,4-Trioktiltrimelitat (TOTM) yang biasa digunakan pada industri Polyvinyl Chloride (PVC). Salah satu bahan baku untuk membuat DOP dan TOTM adalah 2-Etil Heksanol.

Proses produksi 2-Etil Heksanol secara komersial saat ini pada umumnya menggunakan proses Oxo. Bahan baku yang digunakan proses Oxo adalah propilen dan syngas. Proses Oxo terdiri dari proses hidroformilasi katalitik olefin dengan syngas membentuk aldehid lalu kemudian aldehid tersebut dilanjutkan dengan reaksi hidrogenasi katalitik menjadi alkohol [1]. Proses hidrogenasi 2-Etil Heksenal menjadi 2-Etil Heksanol merupakan tahap akhir dalam proses Oxo dengan mekanisme reaksi 2-Etil Heksenal menjadi 2-Etil Heksanol kemudian menjadi produk akhir 2-Etil Heksanol. Proses ini dapat berlangsung pada fasa gas maupun fasa cair, akan tetapi di industri kebanyakan menggunakan fasa cair karena menghasilkan kualitas produk alkohol yang tinggi dan juga konsumsi energi yang digunakan lebih rendah [2]. Sebagai reaksi katalitik, pemilihan katalis merupakan faktor penting agar katalis yang digunakan di proses ini memiliki aktivitas dan selektivitas yang tinggi untuk menghasilkan produk yang diharapkan.

Katalis komersial yang digunakan untuk proses hidrogenasi 2-Etil Heksenal menjadi produk 2-Etil Heksanol adalah katalis berbasis logam nikel yang diimbangkan pada penyangga alumina ($\text{Ni}/\text{Al}_2\text{O}_3$) [3]. Di Indonesia, kebutuhan katalis $\text{Ni}/\text{Al}_2\text{O}_3$ adalah 100 ton per dua tahun dengan nilai ekonomi sebesar 50 – 60 USD per kilogram. Aktivitas impor katalis dengan jumlah sebesar itu

dengan harga yang relatif cukup mahal menyebabkan ketergantungan yang sangat kuat terhadap luar negeri, sehingga menjadikan negara Indonesia tidak mandiri dan tidak memiliki kepercayaan diri terhadap kemampuan yang dimiliki. Oleh karena itu, Laboratorium Teknik Reaksi Kimia ITB mencoba melakukan penelitian mengenai pembuatan dan karakterisasi katalis untuk proses hidrogenasi 2-Etil Heksenal dengan tujuan mendapatkan katalis dengan kinerja baik.

EKSPERIMEN

Material Katalis

Penelitian yang dilakukan ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh penambahan logam Cu dan K ke dalam katalis hidrogenasi berbasis Ni. Pertama dilakukan penentuan variasi komposisi logam Ni, Cu, dan K dan desain percobaan yang dilakukan dengan metode DOE (Design Of Experiments) di program minitab 16. Logam Ni yang digunakan adalah Nikel konsentrasi 10% dan 20% atau disingkat dengan N10 dan N20. Lalu variasi logam Cu dan K yang dilakukan adalah logam Cu di konsentrasi 5% dan 10%, lalu untuk K di konsentrasi 0,1% dan 0,5%.

Penggunaan Nikel sebagai logam aktif pada reaksi hidrogenasi aldehid tak jenuh seringkali menyebabkan terbentuknya produk samping, yaitu berupa hidrokarbon (parafin) dan eter [4]. Sehingga untuk dapat memperbaikinya perlu ditambahkan sejumlah logam aktif lain yang berfungsi sebagai promotor. Beberapa promotor yang telah diketahui dapat memperbaiki kekurangan logam aktif Nikel dalam hal selektivitas ke arah produk alkohol jenuh adalah promotor logam tembaga (Cu) dan logam alkali.

Logam aktif yang digunakan pada proses hidrogenasi fasa cair biasanya diimbangkan pada penyangga dengan ukuran pori yang besar seperti Alumina atau Kieselguhr yang ditambahkan dengan senyawa fosfat [5]. Penambahan senyawa fosfat tersebut bertujuan untuk memperbesar diameter pori katalis sehingga dapat mencegah terjadinya limitasi difusi [6]. Hasil karakterisasi yang dilakukan menunjukkan bahwa penambahan fosfat dapat memperbesar diameter katalis hingga 60 Å dan meningkatkan aktivitas katalis logam Nikel.[7] Oleh karena itu, pada penelitian ini akan dilakukan sintesis katalis dengan basis logam Ni dengan penyangga alumina yang ditambahkan senyawa fosfat [8].

Berikutnya dilakukan sintesis katalis berbasis logam Nikel dengan penambahan promotor Cu dan K menggunakan metode impregnasi yaitu deposisi logam Ni, Cu, dan K ke

dalam penyangga alumina fosfat 3,3% (AIP3) buatan Laboratorium Teknik Reaksi Kimia ITB [9].

Promotor yang dapat digunakan untuk meningkatkan selektivitas katalis dengan basis logam nikel dalam industri misalnya logam Cu, Mn, Cr, Pd, dan Rh [10]. Penambahan Cu ke dalam katalis Nikel terutama dapat memberikan peningkatan selektivitas reaksi ke arah alkohol walaupun kestabilannya termasuk rendah di dalam kondisi operasi yang berat. Hal ini dapat dilihat dari hasil uji stabilitasnya pada deposisi polimer berat selama 4000 jam, di mana jumlah karbon yang dideteksi hanya 1,78% berat pada katalis percobaan, hasil ini jauh lebih rendah apabila dibandingkan dengan katalis komersial yang memiliki jumlah karbon sebesar 29,5% wt pada katalis yang sudah dijalankan selama 4000 jam [3]. Penambahan logam Cu ke dalam katalis logam Nikel juga dapat mengurangi pembentukan parafin dan eter [11].

Selain logam transisi, logam alkali seperti misalnya Na, K, dan Ba juga dapat digunakan sebagai promotor dalam katalis logam Nikel untuk meningkatkan kualitas produk reaksi hidrogenasi, yang ditunjukkan dalam bentuk nilai bromine (tingkat jenuh hidrokarbon) yang rendah akibat dari pembentukan produk samping ester yang dapat dihambat dan juga memungkinkan reaksi dapat berlangsung pada kondisi operasi yang lebih lunak [12].

Katalis dengan fasa aktif logam pada umumnya memiliki luas permukaan yang rendah, sehingga diperlukan penyangga atau support untuk meningkatkan luas permukaan aktif pada katalis tersebut. Penyangga yang banyak digunakan untuk proses hidrogenasi adalah Alumina (Al_2O_3) dan Silika (SiO_2) yaitu penyangga dengan diameter pori rata-rata $100 \text{ \AA} - 450 \text{ \AA}$ [13]. Dari segi stabilitas hidrotermal, alumina tergolong kurang bagus karena hidrasi Alumina akan menyebabkan penurunan luas permukaan aktif dan juga volume pori katalis. Sedangkan silika memiliki stabilitas hidrotermal yang lebih baik dibanding alumina sehingga silika lebih sering digunakan sebagai penyangga katalis logam nikel [14]. Akan tetapi, alumina memiliki aktivitas lebih baik dalam reaksi hidrogenasi fasa cair dibandingkan dengan silika [15].

Karakterisasi Katalis

Selanjutnya dilakukan karakterisasi terhadap katalis hasil sintesis dengan metode BET untuk menentukan luas permukaan, volum pori, dan diameter pori katalis [16]. Kemudian dilakukan uji aktivitas katalis terhadap reaksi hidrogenasi 2-Etil

Heksanal menggunakan reaktor unggun tetap kontinu dengan kondisi operasi temperatur 120°C , tekanan 30 bar, dan LHSV $1,14 \text{ jam}^{-1}$ [17]. Produk hasil reaksi kemudian dianalisa menggunakan metode kromatografi untuk mendapatkan nilai Konversi (X) dan Selektivitas (S) [18].

Penentuan komposisi katalis NiCuK/AIP3 terbaik dari 8 sampel yang sudah dibuat dan diuji aktivitasnya dengan menggunakan analisa signifikansi dan persamaan regresi linear yang didapat dari program minitab, berdasarkan desain percobaan yang sudah dibuat sebelumnya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sintesis Katalis

Sintesis katalis hidrogenasi NiCuK/AIP3 dilakukan dengan 2 basis komposisi Nikel 10% wt dan 20% wt yang ditambahkan dengan promotor Cu dan K dengan jumlah yang bervariasi yaitu 5% wt dan 10% wt untuk Cu dan 0,1% wt dan 0,5% wt untuk K dengan total variasi sebanyak 8 katalis [19]. Katalis hasil sintesis diberi kode sesuai dengan jumlah logam yang terkandung di dalamnya, dimana untuk 3 kode pertama yaitu N10 dan N20 menandakan katalis tersebut mengandung logam Nikel sebagai fasa aktif sebanyak 10% dan 20%, lalu 3 angka di belakangnya menunjukkan jumlah dari promotor Cu dan K yang digunakan yaitu 5 dan 10 di awal untuk Cu menandakan katalis tersebut mengandung 5% dan 10% Cu, lalu 1 dan 5 di akhir menandakan katalis tersebut mengandung 0,1% dan 0,5% K.

Larutan impregnan yang berisi ketiga logam Ni, Cu, dan K dengan berbagai variasi komposisi digunakan untuk merendam sejumlah penyangga AIP3 sehingga seluruh logam tersebut terserap aktif di dalam penyangga AIP3. Proses impregnasi ini dilakukan secara bertahap dengan tujuan supaya menyesuaikan dengan volum pori penyangga AIP3 yaitu 6,5 mL/10 g. Setelah impregnasi, proses berikutnya adalah pengeringan pada temperatur 120°C selama 12 jam, tujuannya yaitu untuk menguapkan pelarut dan untuk mengkristalkan garam logam di permukaan penyangga. Laju pengeringan yang dilakukan tidak boleh terlalu cepat atau terlalu lambat, karena akan menyebabkan penyebaran logam fasa aktif tidak merata di pori-pori katalis. Setelah pengeringan, katalis kemudian dikalsinasi pada temperatur 350°C selama 5 jam di dalam *furnace*, tujuannya adalah untuk mengubah garam logam ke dalam bentuk oksida agar distribusi logam di dalam pori-pori katalis lebih merata [20]. Selain itu, pada temperatur kalsinasi yang cukup tinggi ini molekul

air yang terikat secara kimia dapat disingkirkan, karena dapat menghambat pembentukan fasa aktif.

Sintesis katalis dilakukan dengan metode impregnasi kering, dan untuk analisisnya sendiri katalis hasil sintesis dilakukan dengan metode BET digunakan untuk mengetahui seberapa besar luas permukaan, volum pori, dan diameter pori dari katalis-katalis tersebut. Dari analisa yang dilakukan, dapat dilihat bahwa luas permukaan katalis NiCuK/AIP3 hasil sintesis yang diukur dengan metode BET mengalami penurunan linear dengan semakin besarnya konsentrasi logam yang diimpregnasi ke dalam penyangga. Penurunan luas permukaan tersebut disebabkan oleh permukaan pori yang terlapis dengan logam yang diimpregnasikan.

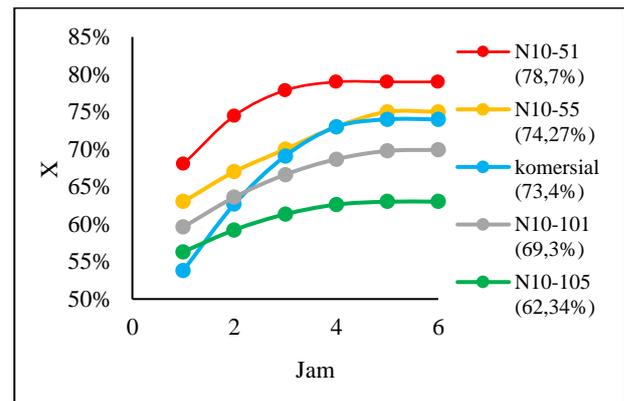
Berdasarkan data tersebut juga dapat dilihat bahwa jumlah logam yang melapisi permukaan pori penyangga juga mempengaruhi besarnya volum pori dan diameter pori katalis. Besarnya jumlah logam yang diimpregnasikan ke dalam penyangga menyebabkan semakin tebalnya lapisan logam pada permukaan pori katalis, sehingga menyebabkan penurunan pada besarnya ukuran diameter pori dan volum pori pada katalis tersebut.

Evaluasi Performa Katalis

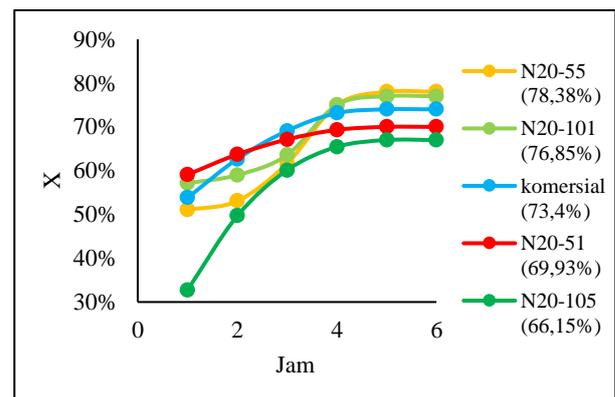
Katalis hasil sintesis kemudian dievaluasi dengan menggunakan reaktor unggun tetap R301 yang terdapat di laboratorium Tekanan Tinggi di departemen Teknik Kimia ITB untuk melakukan proses hidrogenasi 2-Etil Heksanal menjadi 2-Etil Heksanol, dimana kinerja katalis tersebut dapat dilihat berdasarkan jumlah umpan 2-Etil Heksanal yang terkonversi menjadi produk 2-Etil Heksanol beserta selektivitasnya dari umpan 2-Etil Heksanal ke arah produk 2-Etil Heksanol. Reaksi dilangsungkan di dalam kondisi operasi yang mirip dengan di industri yaitu sebagai berikut; $P = 30$ bar, $T = 120^{\circ}\text{C}$ dan gas hidrogen yang dialirkan sebesar 10 mL/menit. Umpan yang digunakan adalah campuran dari reaktan 2-Etil Heksanal dan produk 2-Etil Heksanol dengan rasio 1:4 terhadap massa larutan. Pencampuran ini bertujuan agar dapat mencegah kenaikan temperatur yang drastis pada saat reaksi karena reaksi hidrogenasi 2-Etil Heksanal ini bersifat sangat eksotermis. Laju alir umpan yang digunakan pada saat reaksi adalah 1 mL/menit agar menghasilkan LHSV sebesar $1,14$ jam⁻¹. Reaksi dilangsungkan selama 6 jam untuk memastikan bahwa reaksinya sudah mencapai kondisi *steady state* atau tunak.

Berikut dapat dilihat di **Gambar 1** dan **Gambar 2** adalah kurva yang menampilkan kinerja katalis hidrogenasi NiCuK/AIP3 hasil sintesis

dalam konversi (X) 2-Etil Heksanal menjadi 2-Etil Heksanol:

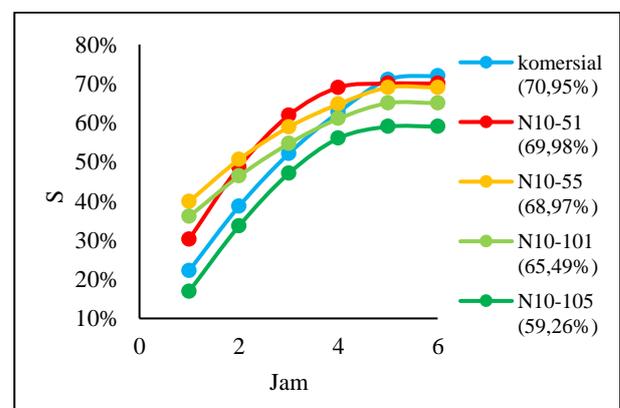


Gambar 1. Konversi katalis NiCuK/AIP3 basis Ni 10% wt.

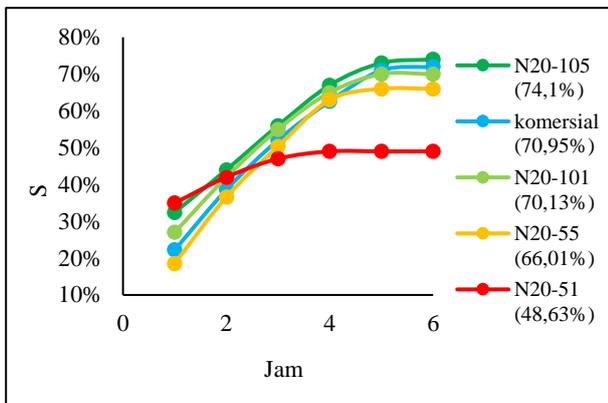


Gambar 2. Konversi katalis NiCuK/AIP3 basis Ni 20% wt.

Lalu pada **Gambar 3** dan **Gambar 4** dapat dilihat kurva yang menampilkan kinerja katalis hidrogenasi NiCuK/AIP3 hasil sintesis dalam selektivitas (S) 2-Etil Heksanal menjadi 2-Etil Heksanol:



Gambar 3. Selektivitas katalis NiCuK/AIP3 basis Ni 10% wt.



Gambar 4. Selektivitas katalis NiCuK/AIP3 basis Ni 20% wt.

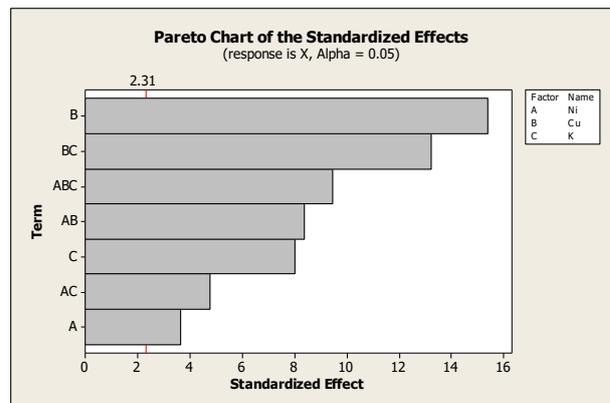
Berdasarkan keempat gambar tersebut dapat dilihat bahwa katalis NiCuK/AIP3 hasil sintesis dan juga katalis komersial mencapai keadaan *steady state* atau tunak mulai di jam ke-5, sehingga kinerja katalis untuk studi statistik akan dinyatakan dalam konversi di kondisi *steady state* pada jam ke-5 dan ke-6.

Pada analisa variansi terhadap kinerja konversi (X) dan selektivitas (S) katalis hasil sintesis, digunakan data-data konversi dan selektivitas katalis NiCuK/AIP3 pada kondisi tunak atau *steady state* yang menunjukkan kinerja sebenarnya dari katalis tersebut untuk mempelajari pengaruh dari penambahan promotor Cu dan K di dalam katalis NiCuK/AIP3.

Pengujian Katalis dengan metode Statistik

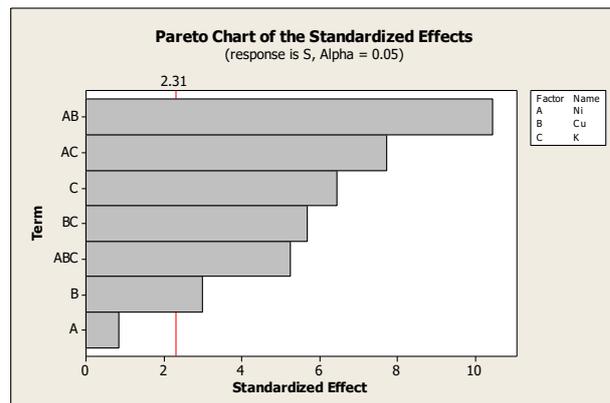
Berdasarkan data-data konversi dan selektivitas tersebut dapat dilakukan pengujian secara statistik pada desain faktorial 2^3 yang telah disiapkan sebelumnya untuk menentukan besarnya pengaruh dari tiap faktor dan juga interaksinya terhadap hasil penelitian yang sudah dilakukan, dalam hal ini yang diteliti menggunakan studi statistik pada program minitab adalah pengaruh penambahan promotor logam Cu dan K ke dalam katalis hidrogenasi berbasis Nikel 10% wt dan 20% wt terhadap konversi, selektivitas, dan *yield* (perolehan) katalis.

Langkah pertama yang dilakukan adalah analisis diagram Pareto pada program minitab untuk mengetahui signifikansi atau besarnya pengaruh dari tiap faktor dan juga interaksi antar faktor di dalam katalis hidrogenasi NiCuK/AIP3 yaitu faktor logam Ni, logam Cu, dan logam K, dan didapatkan hasil yang dapat dilihat pada **Gambar 5**, **Gambar 6**, dan **Gambar 7**.



Gambar 5. Diagram Pareto konversi katalis NiCuK/AIP3.

Berdasarkan diagram Pareto pada **Gambar 5**, dapat dilihat bahwa seluruh faktor dalam katalis NiCuK/AIP3 memiliki signifikansi yang tinggi terhadap konversi terutama faktor B atau logam Cu. Hal itu dapat dilihat dari nilai efek tiap faktor yang lebih besar dibandingkan dengan nilai standar efek pada diagram pareto yang bernilai 2,31. Faktor A (logam Ni) dan C (logam K) juga memiliki efek yang signifikan terhadap konversi katalis akan tetapi nilainya lebih kecil dibandingkan faktor B. Sedangkan interaksi antar faktor yaitu BC (Cu-K) menunjukkan efek yang paling signifikan apabila dibandingkan dengan efek dari interaksi lainnya yaitu AB (Ni-Cu), AC (Ni-K), dan juga interaksi antara 3 faktor yaitu ABC (Ni-Cu-K) yang memberikan efek cukup signifikan terhadap konversi katalis hidrogenasi.

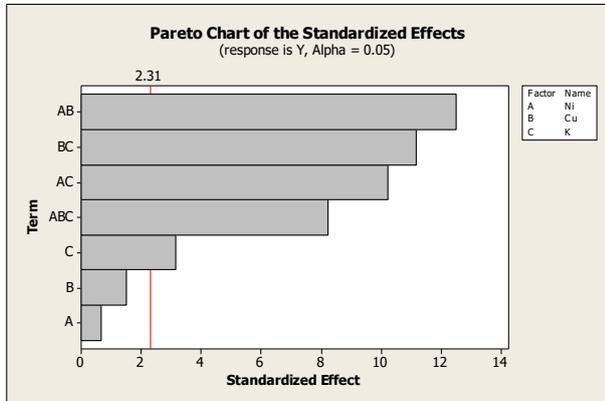


Gambar 6. Diagram Pareto selektivitas katalis NiCuK/AIP3.

Berdasarkan diagram Pareto pada **Gambar 6**, dapat dilihat bahwa hampir seluruh faktor dalam katalis NiCuK/AIP3 memiliki signifikansi yang cukup besar terhadap selektivitas katalis kecuali faktor A atau logam Ni karena nilainya di bawah standar efek yaitu 2,31. Akan tetapi interaksi AB (Ni-Cu) dan AC (Ni-K) memberikan signifikansi yang paling tinggi terhadap selektivitas katalis

hidrogenasi, sehingga faktor A atau logam Ni yang nilainya di bawah standar efek tetap dimasukkan ke dalam analisa variansi.

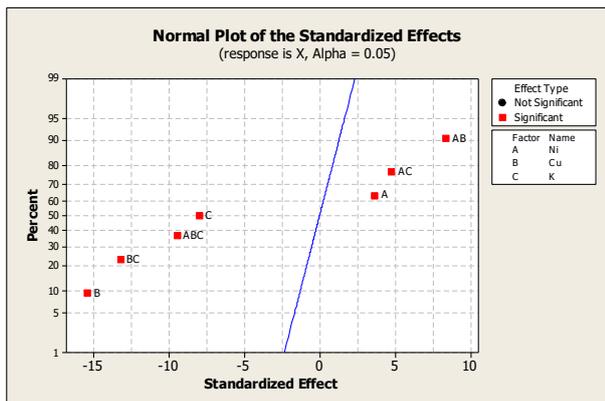
Selain konversi dan selektivitas, parameter yang digunakan untuk menunjukkan kinerja katalis adalah *Yield* (perolehan). Pada analisa ini, digunakan data-data konversi dan selektivitas katalis hidrogenasi pada kondisi tunak yaitu pada jam ke-5 dan ke-6 untuk mendapatkan *yield* (perolehan) dan analisisnya dapat dilihat pada **Gambar 10**.



Gambar 7. Diagram Pareto *yield* katalis NiCuK/AIP3.

Berdasarkan diagram Pareto di **Gambar 7**, dapat dilihat bahwa hampir seluruh faktor dalam katalis NiCuK/AIP3 memiliki signifikansi yang cukup besar terhadap *yield* (perolehan) katalis kecuali faktor A (Ni) dan faktor B (Cu) karena nilainya di bawah standar efek. Akan tetapi interaksi AB (Ni-Cu), BC (Cu-K), dan AC (Ni-K) memberikan signifikansi yang tinggi terhadap *yield* (perolehan) katalis hidrogenasi, sehingga faktor A dan B tetap dimasukkan ke dalam analisa variansi.

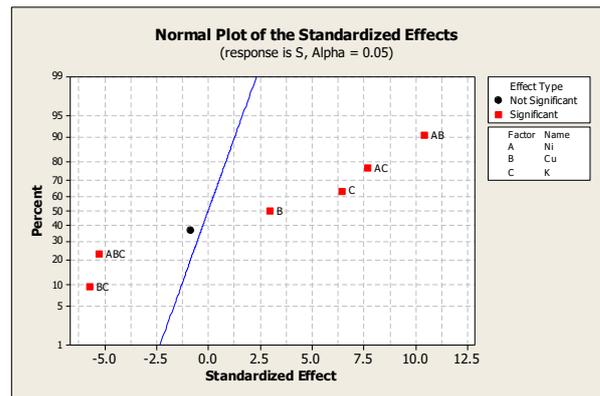
Berikutnya analisa signifikansi yang dilakukan adalah dengan membuat kurva efek normal untuk melihat arah dan juga besarnya signifikansi dari tiap-tiap faktor dan juga interaksi antara tiap faktor, dan hasilnya dapat dilihat pada **Gambar 8**, **Gambar 9**, dan **Gambar 10**.



Gambar 8. Kurva efek normal konversi katalis NiCuK/AIP3.

Dari kurva di **Gambar 8** dapat dilihat bahwa pada kinerja konversi katalis NiCuK/AIP3 terdapat perilaku sebagai berikut:

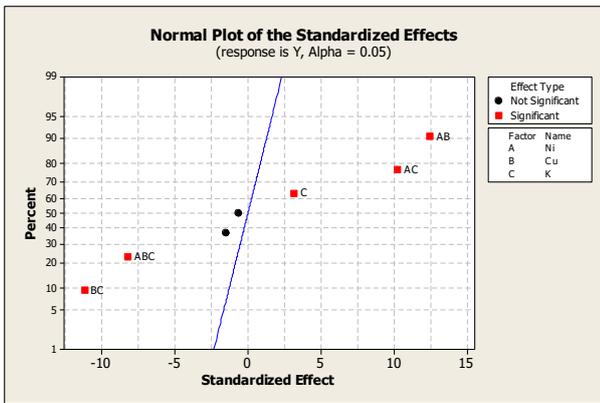
1. Seluruh faktor baik dari efek utama maupun efek interaksi memiliki signifikansi yang tinggi terhadap kinerja konversi katalis, hal ini dapat dilihat dari titik-titik yang letaknya jauh dari kurva efek normal.
2. Faktor A (logam Ni) dan interaksi AB (Ni-Cu) dan AC (Ni-K) yang berada di sebelah kanan kurva efek normal menunjukkan pengaruh positif terhadap konversi katalis hidrogenasi.
3. Faktor B (logam Cu) dan C (logam K) beserta interaksi BC (Cu-K) dan ABC (Ni-Cu-K) yang berada di sebelah kiri kurva efek normal menunjukkan pengaruh negatif terhadap konversi katalis hidrogenasi.



Gambar 9. Kurva efek normal selektivitas katalis NiCuK/AIP3

Dari kurva di **Gambar 9** dapat dilihat bahwa pada kinerja selektivitas katalis NiCuK/AIP3 terdapat perilaku sebagai berikut:

1. Hampir seluruh faktor dan juga interaksi tiap faktor pada katalis hidrogenasi memberikan signifikansi yang cukup tinggi terhadap kinerja selektivitas katalis kecuali faktor A atau logam Ni, yang dapat dilihat dari posisi titiknya yang terlalu dekat dengan kurva efek normal.
2. Faktor B (logam Cu) dan C (logam K), juga interaksi AB (Ni-Cu) dan AC (Ni-K) yang berada di sebelah kanan kurva efek normal menunjukkan pengaruh positif terhadap selektivitas katalis hidrogenasi.
3. Interaksi faktor BC (Cu-K) dan ABC (Ni-Cu-K) yang berada di sebelah kiri kurva efek normal menunjukkan pengaruh negatif terhadap selektivitas sehingga dibutuhkan faktor A atau logam Ni agar dapat mengurangi efek dari interaksi BC tersebut dengan menambahkan interaksi AB dan AC yang memberikan pengaruh positif terhadap selektivitas katalis hidrogenasi.



Gambar 10. Kurva efek normal *yield* katalis NiCuK/AIP3.

Berdasarkan kurva di **Gambar 10** dapat dilihat bahwa pada kinerja *yield* (perolehan) katalis NiCuK/AIP3 terdapat perilaku sebagai berikut:

1. Hampir seluruh faktor dan juga interaksi tiap faktor pada katalis hidrogenasi memberikan signifikansi yang cukup tinggi terhadap kinerja selektivitas katalis kecuali faktor A (Ni) dan B (Cu), yang dapat dilihat dari posisi titiknya yang terlalu dekat dengan kurva efek normal sehingga dianggap tidak signifikan.
2. Faktor C (logam K), lalu interaksi AB (Ni-Cu) dan AC (Ni-K) yang berada di sebelah kanan kurva efek normal menunjukkan pengaruh positif terhadap *yield* (perolehan) katalis, sehingga penambahan konsentrasi logam K dalam katalis NiCuK/AIP3 ini akan meningkatkan *yield* (perolehan) katalis hidrogenasi.
3. Faktor interaksi BC (Cu-K) dan ABC (Ni-Cu-K) yang berada di sebelah kiri kurva efek normal menunjukkan pengaruh negatif terhadap *yield* (perolehan) sehingga penambahan logam Cu dalam katalis NiCuK/AIP3 ini sebaiknya diminimalisir agar tidak terjadi pengurangan *yield* terlalu besar dalam katalis hidrogenasi NiCuK/AIP3.

Berdasarkan hasil ANOVA yang sudah dilakukan, selain dapat mempelajari pengaruh dari penambahan logam Cu dan K ke dalam katalis hidrogenasi berbasis Nikel dapat dibangun juga suatu persamaan regresi linear bertingkat untuk menentukan nilai konversi, selektivitas, dan *yield* (perolehan) katalis hidrogenasi NiCuK/AIP3. Persamaan regresi ini dapat digunakan untuk memperkirakan komposisi katalis hidrogenasi NiCuK/AIP3 yang memberikan kinerja konversi, selektivitas, dan *yield* (perolehan) terbaik.

Dengan menggunakan program minitab, didapat persamaan regresi linear bertingkat untuk konversi, selektivitas, dan *yield* katalis sebagai berikut:

$$X = 117,815 - 3,08275x_1 - 5,47575x_2 - 73,3x_3 + 0,390725x_1x_2 + 7,1725x_1x_3 + 6,5475x_2x_3 - 0,81825x_1x_2x_3$$

$$S = 140,299 - 6,1695x_1 - 8,57x_2 - 101,837x_3 + 0,689675x_1x_2 + 10,2x_1x_3 + 8,15x_2x_3 - 0,86875x_1x_2x_3$$

$$Y = 139,916 - 7,6255x_1 - 9,983x_2 - 143,089x_3 + 0,836725x_1x_2 + 14,71x_1x_3 + 11,38x_2x_3 - 1,38625x_1x_2x_3$$

Dalam ketiga persamaan tersebut, variabel X_1 adalah komposisi logam Nikel (% wt), lalu variabel X_2 adalah komposisi logam Cu (% wt), dan variabel X_3 adalah komposisi logam K (% wt) dalam katalis NiCuK/AIP3. Dengan menggunakan tiga persamaan regresi linear bertingkat tersebut, maka katalis NiCuK/AIP3 berbasis Nikel 20% yang merupakan kadar nikel standar di katalis hidrogenasi yang banyak digunakan di industri dapat dicari komposisi terbaiknya apabila ditambahkan logam Cu dan K sebagai promotor untuk meningkatkan konversi dan selektivitasnya hingga mencapai kinerjanya yang terbaik. Dari hasil penelitian sebelumnya oleh Khairat, 2016 diketahui bahwa reaksi hidrogenasi 2-Etil Heksenal menjadi 2-Etil Heksanol menggunakan katalis berbasis logam Ni dapat mencapai konversi 99,99%. Sehingga komposisi katalis NiCuK/AIP3 yang dapat mencapai kinerja tersebut dapat diperkirakan dengan menggunakan fungsi *solver* pada *Microsoft Excel* pada ketiga persamaan regresi linear bertingkat tersebut dan hasilnya dapat dilihat pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Komposisi terbaik katalis hidrogenasi NiCuK/AIP3.

Komposisi Katalis	X	S	Yield
Ni 20% wt			
Cu 2,97% wt	99,99%	99,77%	99,76%
K 0,9% wt			

Dapat dilihat dari **Tabel 1** tersebut bahwa katalis NiCuK/AIP3 untuk reaksi hidrogenasi 2-Etil Heksenal diperkirakan memberi kinerja paling baik yaitu konversi sebesar 99,99%, selektivitas ke arah 2-Etil Heksanol sebesar 99,77%, dan *yield* (perolehan) sebesar 99,768% dengan komposisi logam di dalam katalis tersebut adalah Nikel 20% wt, Cu 2,97% wt, dan K 0,9% wt.

SIMPULAN

Kesimpulan yang diperoleh dari penelitian ini adalah Katalis Hidrogenasi berbasis logam Ni yang ditambahkan promotor logam Cu dan K memberikan kinerja yang baik dalam reaksi Hidrogenasi 2-Etil Heksenal menjadi 2-Etil Heksanol pada kondisi reaksi industri dan tidak jauh berbeda dengan kinerja katalis komersial yang berbasis logam Ni 20% wt. Selain itu dari hasil penelitian diketahui bahwa logam Cu dan K memiliki pengaruh yang signifikan sebagai promotor dalam kinerja katalis hidrogenasi berbasis logam Ni, terutama untuk meningkatkan selektivitas (S) katalis dalam reaksi Hidrogenasi. Komposisi logam penyusun katalis yang memberikan kinerja terbaik dari studi statistik di penelitian ini adalah Katalis dengan kandungan Ni 20% wt, Cu 2,97% wt, dan K 0,9% wt yang diperkirakan dapat menghasilkan aktivitas konversi 99,99% dan selektivitas 99,77%.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini dapat terlaksana berkat kerjasama antara IWU dengan ITB, khususnya dengan laboratorium Teknik Kimia Tekanan Tinggi sehingga dapat melakukan studi statistika mengenai katalis hidrogenasi berbasis logam Nikel ini.

REFERENSI

- [1] McKetta, John J, "Encyclopedia of Chemical processing and design 1", CRC Press, Florida, 1976
- [2] Z. Tang, Y. Zhou, and Y. Feng, "Preparation of 2-propyl heptanol by catalyst hydrogenation of 2-propyl-2-heptenal", *Applied Catalysis A: General*, vol. 273, no. 1-2, pp. 171-176, 2004.
- [3] E.F. Tuta and G. Bozga, "A kinetic study of the liquid phase 2-ethyl-2-hexenal hydrogenation over Ni-Cu/silica catalyst", *Revista de Chimie*, vol. 65, no. 5, pp. 603-607, 2014
- [4] C. Kordulis, K. Bourikas, M. Gousi, E. Kordouli, and A. Lycourgiotis, "Development of nickel based catalyst for the transformation of natural triglycerides and related compounds into green diesel, a critical review", *Applied Catalysis B: Environmental*, vol. 181, pp. 156-196, 2016.
- [5] L. Alvarado, T. Wolff, P. Veit, L. Hilfert, F.T. Edelman, C. Hamel, and A. Seidel-Morgenstern, "Alumino-mesostructured Ni Catalyst for the direct conversion of ethane to propene", *Journal of Catalysis*, vol. 305, pp. 154-168, 2013.
- [6] Y. Gao, F. Meng, Y. Cheng, and Z. Li "Influence of fuel additives in the urea-nitrates solution combustion synthesis of Ni-Al₂O₃ catalyst for slurry phase CO methanation", *Applied Catalysis A: General*, vol. 534, pp. 12-21, 2017.
- [7] L.A. Perea., T. Wolff, C. Hamel, and A. Seidel-Morgenstern "Experimental study of the deactivation of Ni/AlMCM-41 catalyst in the direct conversion of ethane to propene", *Applied Catalysis A: General*, vol. 533, pp. 121-131, 2017
- [8] G. Busca, "Metal Catalyst for Hydrogenations and Dehydrations, Solid-State Chemistry, Surface Chemistry and Catalytic Behaviour", *Elsevier*, 297-343, 2014.
- [9] M. Khairat, "Hidrogenasi 2-Etilheksenal Berkatalis Nikel: Pemilihan Promotor Dan Studi Kinetika Reaksi", *Thesis*, Institut Teknologi Bandung, 2016.
- [10] L.K. Adam and B.D.E Haarer, Production of 2-ethylhexanol-(1) by hydrogenation of 2-ethylhexen-(2)-al-(1), US Patent 4 021 497, 1977.
- [11] S. Li, H. Chen, and J. Shen, "Preparation of highly active and hydrothermally stable nickel catalyst", *Journal of Colloid and Interface Science*, vol. 447, pp. 68-76, 2015.
- [12] N. Mahata, A.F. Cunha, J.J.M. Orfao, and J.L. Figueiredo, "Highly selective hydrogenation of C=C double bond in unsaturated carbonyl compounds over NiC catalyst", *Chemical Engineering Journal*, vol. 188, pp. 155-159, 2012.
- [13] F. Subhan, and B.S. Liu, "Acidic sites and deep desulfurization performance of nickel supported mesoporous AIMCM-41 sorbents", *Chemical Engineering Journal*, vol. 178, pp. 69-77, 2011.
- [14] F. Taghavi, C. Falamaki, A. Shabanov, L. Bayrami, and A. Roumianfarb "Kinetic study of the hydrogenation of p-nitrophenol to p-aminophenol over micro-aggregates of nano-Ni₂B catalyst particles", *Applied Catalysis A: General*, vol. 407, no. 1-2, pp. 173-180, 2011.
- [15] Y. Wang, S. Sang, W. Zhu, L. Gao, and G. Xiao, "CuNi@C catalyst with high activity derived from metal-organic frameworks precursor for conversion of furfural to cyclopentanone", *Chemical Engineering Journal*, vol. 299, pp. 104-111, 2016.
- [16] S.P. Pratama, S.M. Ulfa, and E.D. Iftital, "Studi Hidrogenasi Furfural menggunakan katalis Ni/ γ -Al₂O₃", *Jurnal Ilmu Kimia*

Universitas Brawijaya, vol. 2, no 1, pp. 358-364, 2014.

- [17] W. Nabgan and R. Mat, "Development of a kinetic model for hydrogen production from phenol over Ni-Co/ZrO₂ catalyst", *Journal of Environmental Chemical Engineering*, vol. 4, no. 4, pp. 4444-4452, 2016.
- [18] A. Romero, A. Nieto-Marquez, and E. Alonso, "Bimetallic Ru:Ni/MCM-48 catalyst for the effective hydrogenation of D-glucose into sorbitol", *Applied Catalysis A: General*, vol. 529, pp. 49-59, 2017.
- [19] L.L. Salomon, W. Kosasih, and S.O. Angkasa "Perancangan eksperimen untuk meningkatkan kualitas ketangguhan material dengan pendekatan analisis general factorial design (studi kasus: produk solid surface)", *Jurnal Rekayasa Sistem Industri* vol. 4, no. 1, 2015.
- [20] J.T. Richardson, "Principles of Catalyst Development", Plenum Press, New York, 1989.