



Konversi Gondorukem menjadi *Fine Chemicals* melalui Reaksi *Hydrocracking* menggunakan Katalis Ni-Mo/ γ -Al₂O₃

Yeni Fitriana Jayanti¹ ✉, Savitri², Nino Rinaldi², Sigit Priatmoko¹, dan Jumaeri¹

¹Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang Gedung D6 Kampus Sekaran Gunungpati Telp. (024)8508112 Semarang 50229

²Pusat Penelitian Kimia Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI) Kawasan Puspiptek Serpong Telp. (021)7560929 Tangerang Selatan 15314

Info Artikel

Diterima September 2017

Disetujui Oktober 2017

Dipublikasikan November 2017

Keywords:

fine chemicals
gondorukem
hydrocracking
Ni-Mo/ γ -Al₂O₃

Abstrak

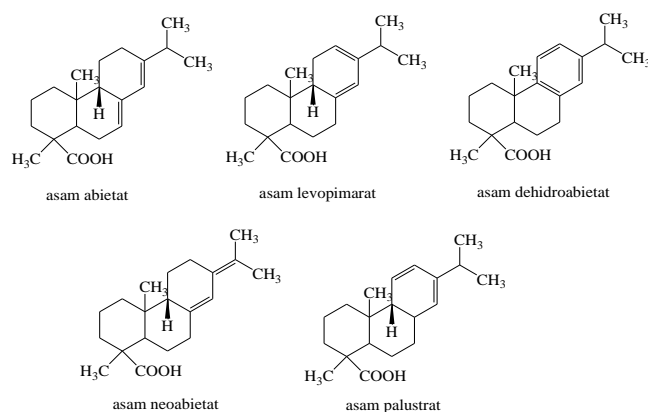
Studi awal tentang konversi gondorukem menjadi *fine chemicals* melalui reaksi *hydrocracking* menggunakan katalis Ni-Mo/ γ -Al₂O₃ telah dipelajari. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh temperatur, tekanan awal gas hidrogen, dan waktu reaksi terhadap reaksi *hydrocracking* gondorukem untuk menghasilkan *fine chemicals*. *Hydrocracking* gondorukem dilakukan pada reaktor autoklaf sistem *batch* dengan melakukan variasi yaitu temperatur reaksi (300-350°C), tekanan gas hidrogen (10-40 bar), dan waktu reaksi (60-240 menit). Jumlah katalis Ni-Mo/ γ -Al₂O₃ yang digunakan yaitu 1% b/b gondorukem. Hasil penelitian menunjukkan bahwa senyawa yang terkandung dalam gondorukem mengalami reaksi *hydrocracking* dengan penggunaan temperatur reaksi yang tinggi. Penggunaan tekanan gas hidrogen yang rendah mampu merengkah gondorukem menjadi *fine chemicals*, sedangkan waktu reaksi yang lama mengakibatkan gondorukem yang terengkah menghasilkan produk yang lebih banyak. Reaksi *hydrocracking* gondorukem menggunakan katalis Ni-Mo/ γ -Al₂O₃ menghasilkan produk optimum jika temperatur yang digunakan tinggi dengan penggunaan gas hidrogen yang rendah serta waktu reaksi yang digunakan relatif lama.

Abstract

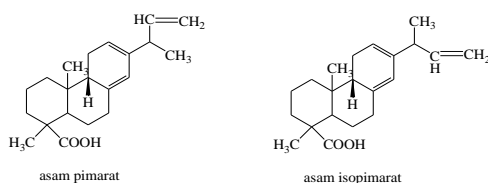
A preliminary study of the conversion of rosin oil to fine chemicals through hydrocracking reactions using Ni-Mo/ γ -Al₂O₃ catalysts has been studied. The purpose of this study was to determine the effect of temperature, initial pressure of hydrogen gas, and reaction time to the reaction of hydrocracking of rosin oil to produce fine chemicals. Hydrocracking of rosin oil is performed on a batch autoclave reactor by varying the reaction temperature (300-350°C), hydrogen gas pressure (10-40 bar), and reaction time (60-240 min). The amount of Ni-Mo/ γ -Al₂O₃ catalyst used is 1% w/w of rosin oil. The results showed that the compounds contained in rosin oil experienced hydrocracking reaction with the use of high reaction temperature. The use of low hydrogen gas pressure is able to split of rosin oil into fine chemicals, whereas the long reaction time results in the rosin oil being crushed producing more products. The hydrocracking reaction of rosin oil using Ni-Mo/ γ -Al₂O₃ catalyst produces the optimum product if high temperatures used with low hydrogen gas usage and reaction time are used relatively long.

Pendahuluan

Industri kimia terus mengalami peningkatan setiap tahunnya. Peningkatan tersebut mengakibatkan kebutuhan bahan baku penunjang industri kimia juga mengalami peningkatan. Bahan baku yang digunakan dalam industri kimia umumnya berasal dari hasil proses pengolahan minyak bumi sehingga kebutuhan minyak bumi setiap tahunnya juga mengalami peningkatan. Namun, peningkatan tersebut tidak diimbangi dengan jumlah cadangan yang memadai. Minyak bumi yang ada diperkirakan habis karena tidak dapat diperbaharui. Oleh karena itu, perlu diupayakan energi alternatif yang dapat diperbaharui sebagai pengganti minyak bumi. Sumber energi yang berpotensi untuk dikembangkan yaitu sumber energi yang berasal dari biomassa. Umumnya bahan yang digunakan berasal dari bahan baku pangan yang banyak digunakan untuk manfaat lain sehingga memberikan dampak negatif serta berpotensi adanya persaingan bagi kebutuhan pangan (Shah *et al.*, 2014; Gu *et al.*, 2015; Saydut *et al.*, 2016). Oleh karena itu, perlu dikembangkan penggunaan bahan baku biomassa non pangan, salah satunya gondorukem. Gondorukem merupakan produk yang dihasilkan dari penyadapan getah pinus yang tersusun atas asam resin, yaitu tipe abietat dan pimarat seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1 dan Gambar 2. Struktur asam resin gondorukem yang merupakan senyawa aromatik bercabang dapat berpotensi untuk dikonversi menjadi bahan bakar dan *fine chemicals* yang mempunyai nilai jual yang tinggi melalui reaksi kimia berkatalitik (Coll *et al.*, 2001; Lubis, 2011; Rinaldi *et al.*, 2013; Savitri *et al.*, 2013). *Fine chemicals* adalah suatu bahan kimia yang murni dan kompleks yang dihasilkan oleh tumbuhan dalam jumlah yang terbatas melalui multistap proses kimia serta dapat diperbaharui dan dapat diproses lebih lanjut dalam industri kimia (Pollak, 2011). Reaksi yang terjadi pada konversi gondorukem menjadi *fine chemicals* merupakan reaksi perengkahan katalitik dengan menggunakan gas hidrogen.



Gambar 1. Struktur asam resin tipe abietat (Kirk & Othomer dikutip Lubis, 2011)



Gambar 2. Struktur asam resin tipe pimarat (Kirk & Othomer dikutip Lubis, 2011)

Berbagai penelitian telah dilakukan dalam konversi gondorukem menjadi *fine chemicals*. Rinaldi *et al.* (2013) membandingkan penggunaan katalis Ni/Al₂O₃ dan Ni/HZSM-5 dalam konversi gondorukem menjadi kumena. Keasaman Ni/HZSM-5 yang tinggi menghasilkan produk yang lebih banyak dibandingkan dengan menggunakan katalis Ni/Al₂O₃. Selain itu, Savitri *et al.* (2013) juga melakukan uji aktivitas katalis monometal (Ni/HZSM-5) dan katalis bimetal (Cu-Ni/HZSM-5) dalam konversi gondorukem menjadi kumena, dimana katalis bimetal memiliki aktivitas katalitik yang lebih baik dibandingkan dengan katalis monometal dalam perengkahan *rosin oil* menjadi kumena.

Pada penelitian ini digunakan katalis Ni-Mo/ γ -Al₂O₃. Katalis Ni-Mo berpenyangga γ -Al₂O₃ memiliki kekuatan asam dan mekanik yang tinggi sehingga digunakan dalam proses *catalytic cracking*, dan *hydrotreating* (Ulfah & Subagio, 2012; Malaibari *et al.*, 2014; Zhao *et al.*, 2015). Pada reaksi *hydrocracking*, katalis Ni-Mo/ γ -Al₂O₃ memiliki aktivitas yang tinggi dalam proses hidrogenolisis serta memiliki selektivitas

yang baik untuk proses hidrodeoksigenasi dan dekarboksilasi. Logam Ni selektif terhadap reaksi dekarboksilasi dan hidrogenasi, sedangkan logam Mo memiliki selektivitas yang tinggi terhadap reaksi hidrodeoksigenasi (Abhari & Havlik, 2011; Madsen, 2011; Vonortas *et al.*, 2012).

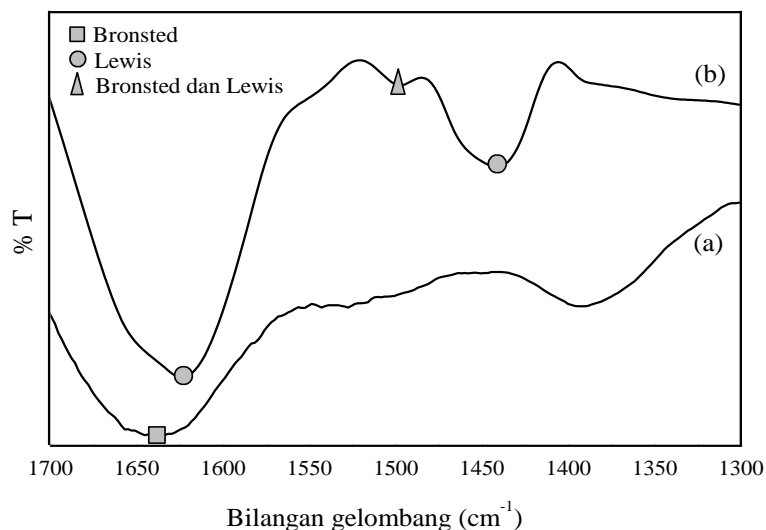
Penelitian ini akan dilakukan studi mengenai pengaruh temperatur reaksi, tekanan gas hidrogen, dan waktu reaksi terhadap konversi gondorukem menjadi *fine chemicals* menggunakan katalis Ni-Mo/ γ -Al₂O₃.

Metode

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah reaktor uji keasaman, reaktor kalsinasi, reaktor sulfidasi, dan reaktor perengkahan *autoclave sistem batch*, FT-IR (*Fourier Transform Infra-Red*) Prestige-21 Shimadzu, *X-Ray Diffraction* (XRD) Rigaku Tipe SmartLab 3KW, dan *Agilent Technologies 6890 Gas Chromatograph 5978 Mass Selective Detector*. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah γ -Al₂O₃, (NH₄)₆Mo₇O₂₄·4H₂O, piridin 99,8% *anhydrous*, Ni(NO₃)₂·6H₂O (semuanya kualitas *pro analysis* buatan Merck), CS₂ *anhydrous* 99% (Sigma Aldrich), gas nitrogen, gas hidrogen (buatan Aneka Gas), akuades, kertas Whatman 42, dan gondorukem (PT Perhutani Anugerah Kimia).

Katalis Ni-Mo/ γ -Al₂O₃ dipreparasi dengan metode impregnasi terpisah. Logam Ni dan Mo diimpregnasikan pada Ni-Mo/ γ -Al₂O₃ melalui penambahan larutan Ni(NO₃)₂·6H₂O dan (NH₄)₆Mo₇O₂₄·4H₂O dengan konsentrasi 5% b/b NiO dan 15% b/b MoO₃. Setelah setiap kali impregnasi, katalis dikeringkan selama semalaman pada 100°C dan selanjutnya dikalsinasi pada 500°C selama 5 jam. Katalis kemudian dikarakterisasi yang meliputi uji tipe keasaman katalis menggunakan metode adsorpsi piridin-FTIR serta XRD untuk mengetahui keberhasilan proses impregnasi katalis. Katalis yang telah dipreparasi perlu diaktivasi terlebih dahulu sebelum digunakan dalam reaksi *hydrocracking* melalui proses sulfidasi. Katalis dialiri gas nitrogen selama 2 jam pada temperatur 150°C dan selanjutnya dialiri gas hidrogen serta 10% CS₂ selama 2 jam pada temperatur 400°C.

Reaksi *hydrocracking* dilakukan pada reaktor autoklaf sistem *batch* dengan tekanan 10-40 bar. Gondorukem ditimbang sebanyak 20 g, lalu katalis ditimbang sebanyak 1% b/b dari gondorukem. Gondorukem dan katalis dimasukkan dalam reaktor serta temperatur reaksi yang digunakan yaitu 300-350°C. Reaksi dilakukan selama 60-240 menit setelah temperatur reaksi tercapai. Katalis dan produk yang dihasilkan kemudian dipisahkan menggunakan kertas Whatmann 42. Produk yang dihasilkan kemudian dianalisis menggunakan GC-MS.



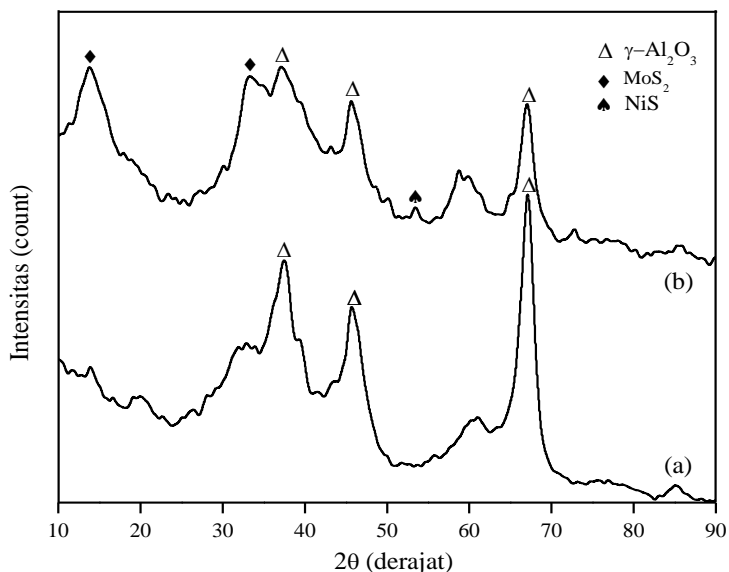
Gambar 3. Spektra FTIR uji keasaman katalis (a) γ -Al₂O₃ dan (b) Ni-Mo/ γ -Al₂O₃

Hasil dan Pembahasan

Analisis penentuan keasaman katalis menggunakan FT-IR yang bertujuan untuk mengidentifikasi tipe keasaman katalis berdasarkan bilangan gelombang dengan metode adsorpsi piridin. Berdasarkan spektrum yang dihasilkan dari analisis menggunakan FT-IR, jenis situs asam Bronsted dan Lewis yang terdapat dalam katalis dapat diketahui melalui puncak-puncak serapan pada bilangan gelombang 1700-1400 cm⁻¹ (Savitri *et al.*, 2015). Spektra FT-IR hasil uji keasaman katalis ditunjukkan pada Gambar 3. Penyangga γ -Al₂O₃ menunjukkan adanya situs asam Bronsted yang muncul pada serapan gelombang 1637,56 cm⁻¹ (Karge *et al.*, 1999). Tipe keasaman tersebut berubah ketika logam Ni dan Mo diimpregnasikan ke dalam penyangga γ -Al₂O₃. Berdasarkan data spektra FT-IR, katalis Ni-Mo/ γ -Al₂O₃ memiliki beberapa serapan

gelombang pada bilangan-bilangan gelombang 1440,83, 1496,76, dan 1624,06 cm^{-1} yang berturut-turut menunjukkan tipe keasaman Lewis, gabungan antara situs asam Bronsted dan Lewis, serta situs asam Lewis (Tanabe, 1981; Sandi *et al.*, 2010). Logam Ni dan Mo merupakan logam golongan transisi yang memiliki orbital d kosong atau terisi setengah penuh yang efektif untuk menerima pasangan elektron dari basa adsorbat sehingga akan memberikan situs asam Lewis pada katalis (Santi & Efiyanti, 2014). Katalis Ni-Mo/ γ - Al_2O_3 memiliki situs asam Lewis dan situs asam Bronsted. Kedua situs asam pada katalis Ni-Mo/ γ - Al_2O_3 ini yang dapat digunakan untuk reaksi perengkahan (Rinaldi *et al.*, 2013).

Instrumen XRD digunakan untuk mengetahui keberhasilan impregnasi logam Ni dan Mo dalam penyangga γ - Al_2O_3 . Analisis XRD diukur pada sudut 2θ 10-90° seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4. Sudut 2θ yang diperoleh dibandingkan dengan data JCPDS-*International Center for Diffraction Data* (ICDD). Gambar 4 menunjukkan bahwa karakteristik difraktogram dari γ - Al_2O_3 terdapat pada sudut $2\theta = 37,76^\circ$; $45,72^\circ$; dan $67,20^\circ$ (JCPDS No. 29-0063 dan ICDD 00-010-0425). Pengembunan logam Ni dan Mo pada γ - Al_2O_3 mengakibatkan terbentuk puncak-puncak baru pada sudut pada $2\theta = 14,6^\circ$; $33,16^\circ$; dan $53,32^\circ$. Puncak pada $2\theta = 14,6^\circ$ dan $33,16^\circ$ menunjukkan bahwa katalis mengandung MoS_2 , sedangkan puncak pada $2\theta = 53,32^\circ$ mengindikasikan bahwa katalis mengandung NiS. Karakteristik puncak MoS_2 terdapat pada $2\theta = 14^\circ$; 33° ; 41° ; dan 59° (JCPDS No. 73-1508), sedangkan fasa NiS terdapat pada puncak $2\theta = 27^\circ$; 31° ; 35° ; 38° ; 45° ; dan 53° (JCPDS No. 01-088-1709). Hasil tersebut menunjukkan bahwa proses sulfidasi dengan menggunakan gas hidrogen (H_2) dan CS_2 mampu mengubah oksida logam (MoO_3 dan NiO) menjadi sulfida logam (MoS_2 dan NiS). Walaupun demikian, tidak menutup kemungkinan bahwa logam Ni dan Mo yang terembun masih dalam bentuk oksidanya. Terbentuknya kristal MoO_3 mengindikasikan bahwa dispersi logam Mo yang dihasilkan pada penyangga rendah dan distribusi logam kurang merata (Lestari *et al.*, 2006; Rinaldi *et al.*, 2008). Selain itu, adanya kristal MoO_3 juga menyebabkan pembentukan fasa aktif Ni-Mo-S menjadi berkurang setelah diimbun dengan logam Ni.



Gambar 4. Difraktogram XRD (a) γ - Al_2O_3 dan (b) Ni-Mo/ γ - Al_2O_3

Hasil analisis senyawa yang terkandung dalam gondorukem menggunakan GC-MS dapat dilihat pada Tabel 1. Tabel 1 menunjukkan bahwa gondorukem memiliki beberapa kandungan senyawa dengan komponen utama secara berturut-turut yaitu m-xilena, asam isopimaric, dan α -pinena. Selain itu, gondorukem juga mengandung senyawa camphena, Delta 3-carena, D-limonena, asam dehidroabietat, dan asam abietat. Senyawa-senyawa ini nantinya akan mengalami reaksi *hydrocracking* menjadi bahan bakar seperti yang dilaporkan oleh Rinaldi *et al.* (2013) dan Savitri *et al.* (2013).

Uji aktivitas katalis Ni-Mo/ γ - Al_2O_3 pada proses *hydrocracking* gondorukem dilakukan variasi temperatur perengkahan yaitu 300°C, 325°C, dan 350°C. Reaksi dilakukan pada tekanan gas hidrogen yaitu 30 bar. Tekanan gas hidrogen yang dimaksudkan yaitu tekanan awal gas hidrogen yang diberikan ketika proses reaksi akan dilakukan. Jumlah massa katalis yang digunakan yaitu 1% b/b gondorukem dan waktu reaksi yang digunakan selama 240 menit. Hasil analisis GC-MS produk *hydrocracking* gondorukem pada variasi temperatur reaksi disajikan pada Tabel 2.

Tabel 1. Hasil analisis GC-MS gondorukem

Komponen	% area
m-xilena	36,45
Asam isopimararat	24,88
α -pinena	11,12
Delta 3-carena	8,42
Asam dehidroabietat	8,39
D-limonena	4,65
Asam abietat	3,63
Camphena	2,46

Tabel 2. Hasil analisis GC-MS produk hydrocracking gondorukem pada variasi temperatur

Senyawa	% area		
	300°C	325°C	350°C
Sikloalkena	-	1,51	-
Alkilbenzena	2,72	3,12	3,94
Indan	-	0,39	1,74
Tetralin	1,03	3,26	3,50
Naftalena	-	1,67	6,78
Fenantrena	6,90	4,97	17,29
Retena	3,34	1,41	20,93
Tetrahidroretena	10,57	19,34	16,11
Naftopiranon	-	0,35	-
Norabietatriena	69,76	58,78	28,51
Dehidroabietal	-	0,29	-
Dehidroabietol	-	0,11	-
Asam dehidroabietat	5,68	4,76	-
Ftalat	-	-	1,15

Tabel 2 menunjukkan bahwa secara umum produk yang dihasilkan pada reaksi *hydrocracking* gondorukem pada variasi temperatur reaksi yaitu norabietatriena, tetrahidroretena, retena, fenantrena, tetralin, dan alkilbenzena. Penggunaan temperatur reaksi yang rendah (300°C dan 325°C) belum mampu merengkah asam resin, yaitu asam dehidroabietat yang terkandung dalam gondorukem. Namun pada penggunaan temperatur 350°C, asam resin telah terengkah menjadi senyawa dengan rantai yang lebih pendek. Peningkatan temperatur reaksi mengakibatkan kandungan asam dehidroabietat dalam produk akhir perengkahan makin menurun, bahkan asam dehidroabietat sudah tidak terdeteksi pada temperatur 350°C. Temperatur reaksi yang tinggi mengakibatkan asam resin telah terengkah menjadi senyawa lain dengan rantai atom C yang lebih pendek. Penggunaan temperatur reaksi yang tinggi pada reaksi *hydrocracking* menghasilkan produk yang lebih banyak karena kemungkinan ikatan jenuh C-C makin banyak yang terengkah menjadi senyawa lain dengan rantai atom C yang lebih pendek (Housmand *et al.*, 2013; Dewi *et al.*, 2014). Penggunaan temperatur reaksi yang tinggi mengakibatkan molekul umpan yang bergerak makin banyak sehingga potensi tumbukan antar molekul makin besar yang mengakibatkan produk yang dihasilkan meningkat. Rohmah *et al.* (2012) mengungkapkan bahwa *hydrocracking* merupakan reaksi endotermik dimana penggunaan temperatur yang tinggi dapat memutus ikatan C-C senyawa umpan menghasilkan hidrokarbon cair dan gas. Makin tinggi temperatur reaksi, maka tingkat energi yang digunakan untuk memutus ikatan C-C senyawa umpan makin besar sehingga makin banyak produk yang dihasilkan dalam reaksi *hydrocracking*.

Uji aktivitas katalis Ni-Mo/ γ -Al₂O₃ pada proses *hydrocracking* gondorukem dilakukan variasi tekanan gas hidrogen yaitu 10 bar, 20 bar, 30 bar, dan 40 bar. Tekanan gas hidrogen yang dimaksudkan merupakan tekanan awal gas hidrogen yang diberikan ketika reaksi akan dilakukan. Reaksi dilakukan pada temperatur reaksi yaitu 350°C. Jumlah massa katalis yang digunakan yaitu 1% b/b gondorukem dan waktu reaksi yang digunakan selama 240 menit. Hasil analisis GC-MS produk *hydrocracking* gondorukem pada variasi tekanan gas hidrogen ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3 merupakan produk yang dihasilkan dari reaksi *hydrocracking* gondorukem pada variasi tekanan gas hidrogen. Secara umum, produk *hydrocracking* yang dihasilkan yaitu norabietatriena, tetrahidroretena, retena, fenantrena, naftalena, tetralin, indan, dan alkilbenzena. Asam dehidroabietat yang merupakan senyawa yang terkandung dalam gondorukem masih muncul pada senyawa produk. Hasil

analisis produk menunjukkan bahwa asam dehidroabietat masih muncul pada tekanan gas hidrogen 20 bar dan 40 bar, sedangkan pada tekanan 10 bar dan 30 bar kandungan asam dehidroabietat telah hilang. Kandungan asam dehidroabietat paling tinggi terdeteksi pada tekanan 40 bar. Makin tinggi tekanan gas hidrogen yang digunakan dalam reaksi *hydrocracking*, maka makin besar kemungkinan senyawa umpan belum terengkah secara sempurna. Hal ini menunjukkan bahwa tidak sepenuhnya asam dehidroabietat mengalami reaksi *hydrocracking* menjadi senyawa lain dengan rantai atom C yang lebih pendek.

Tabel 3. Hasil analisis GC-MS produk *hydrocracking* gondorukem pada variasi tekanan gas hidrogen

Senyawa	% area			
	10 bar	20 bar	30 bar	40 bar
Alkilbenzena	9,01	6,85	3,94	3,49
Isobenzofuranon	-	3,60	-	3,78
Azulena	-	1,81	-	3,39
Indan	0,75	0,88	1,74	3,82
Tetralin	2,31	1,39	3,50	-
Naftalena	8,06	3,88	6,78	1,65
Fenantrena	25,89	20,66	17,29	18,10
Retena	11,94	8,37	20,93	4,88
Tetrahidroretena	12,89	13,34	16,11	10,85
Norabietatriena	29,16	37,75	28,51	45,33
Dehidroabietal	-	-	-	0,96
Dehidroabietol	-	-	-	0,74
Asam dehidroabietat	-	1,46	-	3,01
Ftalat	-	-	1,15	-

Banyaknya tekanan gas hidrogen yang digunakan dalam proses *hydrocracking* gondorukem mempengaruhi produk akhir yang dihasilkan. Penggunaan tekanan gas hidrogen yang lebih rendah mampu merengkah asam resin yang terkandung dalam gondrukem menjadi senyawa yang lebih sederhana. Reaksi *hydrocracking* merupakan reaksi yang endotermik, sehingga apabila temperatur yang digunakan tinggi maka tekanan gas hidrogen yang digunakan harus rendah agar memperoleh produk yang banyak. Hal ini sesuai dengan yang diungkapkan oleh Yu *et al.*, (2011) dan Savitri *et al.*, (2013), dimana penggunaan tekanan gas hidrogen yang rendah dengan temperatur yang tinggi pada reaksi perengkahan menghasilkan produk yang banyak.

Uji aktivitas katalis Ni-Mo/ γ -Al₂O₃ pada proses *hydrocracking* gondorukem dilakukan pada variasi waktu reaksi *hydrocracking* yaitu 60 menit, 120 menit, 180 menit, dan 240 menit. Reaksi dilakukan pada temperatur reaksi yaitu 350°C. Jumlah massa katalis yang digunakan yaitu 1% b/b gondorukem dan tekanan gas hidrogen yang digunakan yaitu 30 bar. Tekanan gas hidrogen yang dimaksud yaitu tekanan awal gas hidrogen yang diberikan ketika reaksi akan dilakukan. Hasil analisis GC-MS produk *hydrocracking* gondorukem pada variasi waktu reaksi disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4 merupakan produk yang dihasilkan dari reaksi *hydrocracking* gondorukem pada variasi waktu reaksi *hydrocracking*. Secara umum, produk *hydrocracking* yang dihasilkan pada berbagai variasi waktu reaksi yaitu alkilbenzena, indan, tetralin, naftalena, fenantrena, retena, tetrahidroretena, dan norabitatriena. Tabel 4 menunjukkan bahwa kandungan asam dehidroabietat maupun metil dehidroabietat yang merupakan senyawa umpan masih muncul pada senyawa produk. Asam dehidroabietat masih muncul pada waktu reaksi 60 menit, 120 menit, dan 180 menit, sedangkan pada waktu reaksi 240 menit kandungan asam dehidroabietat telah hilang. Makin lama waktu reaksi yang digunakan, maka makin besar kemungkinan senyawa umpan terengkah secara sempurna. Hal ini menunjukkan bahwa asam dehidroabietat telah mengalami reaksi *hydrocracking* menjadi senyawa lain dengan rantai atom C yang lebih pendek.

Lamanya waktu reaksi yang digunakan juga berpengaruh terhadap reaksi *hydrocracking* gondorukem. Makin lama waktu reaksi yang digunakan mengakibatkan kandungan gasolin, kerosin, dan diesel meningkat, sedangkan kandungan pelumas menurun. Penggunaan waktu reaksi yang lama mengakibatkan senyawa umpan memiliki kesempatan yang lebih lama untuk mengalami tumbukan antar molekulnya. Adanya tumbukan ini menyebabkan ikatan antar atom C-C senyawa umpan makin banyak yang terputus menjadi senyawa yang lebih sederhana maupun fraksi yang lebih ringan. Hal ini sesuai dengan yang diungkapkan oleh Hartiniati (2008) yang mengungkapkan bahwa waktu reaksi yang makin lama mendorong lebih banyak terjadinya proses *hydrocracking* dan hidrogenasi senyawa hidrokarbon sehingga produk gas hidrokarbon yang dihasilkan makin banyak. Namun sebaliknya, penggunaan waktu reaksi yang terlalu singkat belum mampu merengkah senyawa umpan menjadi fraksi yang lebih sederhana dengan rantai atom

C yang lebih pendek. Pada waktu reaksi yang singkat, tumbukan antar molekul juga terjadi, namun karena waktu reaksi yang digunakan singkat, maka tumbukan antar molekul belum mampu memutuskan ikatan antara C-C pada molekul umpan. Tumbukan tersebut mengakibatkan terjadinya dimerisasi yang menyebabkan terbentuknya senyawa lain dengan rantai atom karbon yang lebih panjang. Namun penggunaan waktu reaksi yang terlalu lama mengakibatkan terbentuknya produk gas hidrokarbon (C₁-C₅) yang lebih banyak dibandingkan dengan produk cair. Hal ini dikarenakan makin lama waktu reaksi mengakibatkan reaksi perengkahan akan terus terjadi sehingga produk gas hidrokarbon berpotensi untuk terbentuk dengan jumlah yang lebih banyak. Rohmah *et al.* (2012) juga menjelaskan bahwa penggunaan waktu reaksi yang relatif lama mengakibatkan terjadinya penguapan produk cair menjadi produk dalam fase gas. Selama waktu reaksi yang relatif lama, reaksi *hydrocracking* terus terjadi dimana terjadi penyerangan umpan oleh hidrogen dan ikatan C-C diputus menghasilkan produk gas.

Tabel 4. Hasil analisis GC-MS produk *hydrocracking* gondorukem pada variasi waktu reaksi

Senyawa	% area			
	60 menit	120 menit	180 menit	240 menit
Alkilbenzena	3,54	9,18	6,21	3,94
Fenol	-	-	0,09	-
(1,4-fenilena)-5,5-bis(penta-dien-1-al)	1,22	-	-	-
Azulena	-	-	5,62	-
Indan	0,62	0,57	0,22	1,74
Tetralin	4,33	4,33	4,55	3,50
Naftalena	5,24	8,84	5,48	6,78
Fenantrena	16,36	13,80	15,94	17,29
Retena	4,96	8,26	9,67	20,93
Tetrahidroretena	11,03	23,96	10,30	16,11
Norabietatriena	42,25	28,14	35,92	28,51
Dehidroabietal	1,32	0,74	-	-
Dehidroabietol	-	-	0,09	-
Asam dehidroabietat	9,13	2,17	2,80	-
Ftalat	-	-	-	1,15

Simpulan

Gondorukem dapat dikonversi menjadi *fine chemicals* melalui reaksi *hydrocracking* menggunakan katalis Ni-Mo/ γ -Al₂O₃. Asam dehidroabietat yang merupakan senyawa yang terkandung dalam gondorukem mengalami *hydrocracking* dengan penggunaan temperatur reaksi yang tinggi. Penggunaan tekanan gas hidrogen yang rendah mampu merengkah gondorukem menjadi *fine chemicals*, sedangkan waktu reaksi yang lama mengakibatkan gondorukem yang terengkah menghasilkan produk yang lebih banyak. Reaksi *hydrocracking* gondorukem menggunakan katalis Ni-Mo/ γ -Al₂O₃ menghasilkan produk optimum jika temperatur yang digunakan tinggi dengan penggunaan gas hidrogen yang rendah serta waktu reaksi yang relatif lama.

Daftar Pustaka

- Abhari, R. & Havlik, P. 2011. *United States of America. Patent No. 8026401*
- Coll, R., Udas, S. & Jacoby, W.A. 2001. Conversion of the Rosin Acid Fraction of Crude Tall Oil into Fuels and Chemicals. *Energy & Fuels*, 15(5): 1166-1172
- Dewi, T.K., Mediana, M. & Hidayati, N. 2014. Pengaruh Suhu pada *Hydrocracking* Oli Bekas menggunakan Katalis Cr/ZAA. *Teknik Kimia*, 20(2): 64-69
- Gu, J., Xin, Z., Meng, X., Sun, S., Qiao, Q., & Deng, H. 2015. Studies on Biodiesel Production from DDGS-extracted Corn Oil at the Catalysis of Novozym 435/Super Absorbent Polymer. *Fuel*, 146: 33-40
- Hartiniati. 2008. Pengaruh Temperatur dan Waktu Reaksi pada Konversi Katalitik Residu Minyak Bumi. *Jurnal Energi dan Lingkungan*, 4(2): 51-56
- Housmand, D., Roozbehani, B. & Badakhshan, A. 2013. Thermal and Catalytic Degradation of Polystyrene with a Novel Catalysts. *International Journal of Science & Emerging Technologies*, 5(1): 234-238
- Karge, H.G., Hunger, M. & Beyer, H.K. 1999. Characterization of Zeolites Infrared and Nuclear Magnetic Resonance Spectroscopy and X-Ray Diffraction. *Catalysis and Zeolites, Fundamental and Applications*: 199-326.

- Lestari, H.D., Subagjo & Makertihartha, I. 2006. Sintesis Katalis NiMo untuk Hydrotreating Coker Nafta. *Jurnal Teknik Kimia Indonesia*, 5(1): 365-373
- Lubis, M.A.R. 2011. Pengaruh Suhu dan Tekanan Terhadap Sifat Fisiko-Kimia Gondorukem Terhidrogenasi (Hydrogenated Rosin). *Skripsi*. Bogor: Fakultas Kehutanan Institut Pertanian Bogor
- Madsen, A.T. 2011. *Catalytic Production of Biodiesel*. Centre of Catalysts and Sustainable Chemistry
- Malaibari, Z.O., Croiset, E., Amin, A. & Epling, W. 2014. Effect of Interactions between Ni and Mo on Catalytic Properties of a bimetallic Ni-Mo/Al₂O₃. *Applied Catalysis A: General*
- Pollak, P. 2011. *Fine Chemicals: The Industry and The Business* (7th ed). Canada: John Wiley & Sons, Inc.
- Rinaldi, N., Savitri & Yunita, I. 2013. Reaksi Perengkahan Katalitik Rosin Oil dengan menggunakan Katalis Ni/Al₂O₃ dan Ni/HZSM-5. *Seminar Nasional Kimia Terapan Indonesia*. Solo
- Rohmah, E.N., Rochmat, A. & Sumbogo, S.D. 2012. Biogasoline from Catalytic Hydrocracking Reaction of Waste Cooking Oil using Bayah Natural Zeolite. *International Journal of Environment and Bioenergy*, 3(3): 201-209
- Sandi, D.N., Purwanti, E. & Ediati, R. 2010. Sintesis dan Karakterisasi Katalis Al-MCM-41, Fe-Al-MCM-41 serta Fe-MCM-41. *Laporan Penelitian*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya
- Santi, D. & Efiyanti, L. 2014. Hidrorengkahan Minyak Laka menggunakan Katalis NiO/Zeolit Alam aktif dan NiOMoO/Zeolit Alam Aktif menjadi Fraksi Berpotensi Energi. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 32(2): 93-102
- Savitri, Nasikin, M., Rinaldi, N. & Rahmadi, D. 2013. Synthesis of Cumene (Isopropyl Benzene) from Rosin Oil Through Cracking and Dehydrogenation. *Teknologi Indonesia*, 36(3): 154-160
- Saydut, A., Erdogan, S., Kafadar, A.B., Kaya, C., Aydin, F., Hamamci, C. 2016. Process Optimization for Production of Biodiesel from Hazelnut Oil, Sunflower Oil and Their Hybrid Feedstock. *Fuel*, 183: 512-517
- Shah, M., Tariq, M., Ali, S., Guo, Q.X., Fu, Y. 2014. Transesterification of Jojoba Oil, Sunflower Oil, Neem Oil, Rocket Seed Oil and Linseed Oil by Tin Catalysts. *Biomass and Bioenergy*, 70: 225-229
- Tanabe, K. 1981. Solid Acid and Base catalyst. *Catalyst Science and Technology*, 2: 73-271
- Ulfah, M. & Subagjo. 2012. Pengaruh Perbedaan Sifat penyangga Alumina terhadap Sifat Katalis Hydrotreating Berbasis Nikel-Molibdenum. *Reaktor*, 14(2): 151-157
- Vonortas, A., Kubicka, D. & Papayannakos, N. 2012. Catalytic Co-hydroprocessing of Gasoil-Palm Oil/AVO Mixtures Over a NiMo/ γ -Al₂O₃ catalyst. *Fuel*, 116: 49-55
- Yu, Z., Chen, L., Zong, Z., Zhu, Z., & Wu, Q. 2011. The Effects of Temperature and Hydrogen Partial Pressure on Hydrocracking of Phenantrene. *International Journal of Chemistry*, 3(2): 67-73
- Zhao, Y., Lin, X. & Li, D. 2015. Catalytic Hydrocracking of a Bitumen-Derived Asphaltene over NiMo/ γ -Al₂O₃ at Various Temperatures. *Chemical Engineering Technology*, 38(2): 297-303