

## EFEKTIFITAS KATALIS Co/Mo PADA HYDROCRACKING MINYAK NYAMPLUNG

Rismawati Rasyid, Ricco Aditya Setiyo Wicaksono, Devita Dian Lusita, Mahfud, dan Achmad Roesyadi<sup>\*)</sup>

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111, Indonesia  
Telp : +62-81-1371567, Fax : +62-31-5946480  
<sup>\*)</sup>Penulis korespondensi : aroesyadi@yahoo.com

### Abstract

**THE EFFECTIVITY OF Co/Mo CATALYSTS IN HYDROCRACKING OF NYAMPLUNG OIL.** Hydrocracking process of Nyamplung Oil was presented using Co and Mo as metal catalysts. Ratio of Co/Mo metals in catalysts, can give better catalytic activity for Nyamplung Oil conversion. In this process, we used Co/Mo ratio (0.264/0.64), (0.62/1.61), and (1.23/3.22) towards SiO<sub>2</sub> dan  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. This catalyst has made by wet impregnation method with drying temperature at 383 K during 8 hours and was calcined at 773 K for 5 hours. This catalyst was characterized by X-Ray Diffraction (XRD) and showed Co<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, MoO<sub>3</sub> and CoMoO<sub>4</sub> substances that was deposited at CoMo/SiO<sub>2</sub> catalyst surface. Then, Co<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, MoO<sub>3</sub>, MoO<sub>2</sub> and CoMoO<sub>4</sub> substances was also appeared at CoMo/ $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> catalyst surface. That all phases which is deposited at both of this catalyst surface, is appropriate with International Centre for Diffraction Data (ICDD standards). Then, this catalyst was used for hydrocracking process of Nyamplung Oil that takes place at batch reactor. That process was carried out at 3 MPa and 623 K over 2 hours. C<sub>5</sub>-C<sub>11</sub> dan C<sub>12</sub>-C<sub>18</sub> products was produced from Nyamplung Oil conversion using this process. Both of this products is increased correspond to the addition of Co and Mo metals ratio. The highest yield that was achieved is C<sub>5</sub>-C<sub>11</sub> (24.30%) and C<sub>12</sub>-C<sub>18</sub> (61.28%) when using Co/Mo (1.23/3.22)/ $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> catalyst. Meanwhile, Co/Mo (1.23/3.22)/ SiO<sub>2</sub> catalyst can produce C<sub>5</sub>-C<sub>11</sub> (19.52%) and C<sub>12</sub>-C<sub>18</sub> (53.55%).

**Keywords:** CoMo catalyst; hydrocracking; nyamplung oil

### Abstrak

Rasio katalis CoMo sebagai katalis logam memiliki aktivitas yang baik dalam mengkonversi minyak nyamplung. Proses hydrocracking menggunakan rasio Co/Mo (0,24/0,64), (0,62/1,61), dan (1,23/3,22) terhadap SiO<sub>2</sub> dan  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Katalis tersebut menggunakan metode impregnasi basah dengan suhu pengeringan 383 K selama 8 jam dan dikalsinasi selama 5 jam pada suhu 773 K. Karakterisasi katalis menggunakan XRD (X-ray diffraction) menunjukkan komponen Co<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, MoO<sub>3</sub> dan CoMoO<sub>4</sub> terdepositasi pada permukaan katalis CoMo/SiO<sub>2</sub>. Kemudian untuk katalis CoMo/ $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> terdapat Co<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, MoO<sub>3</sub>, MoO<sub>2</sub> dan CoMoO<sub>4</sub> dipermukaan katalis. Fase yang terdepositasi pada permukaan kedua katalis disesuaikan dengan standar ICCD (International Centre for Diffraction Data). Hasil uji aktivitas katalis tersebut menggunakan reaktor batch dengan tekanan 3 MP dan temperatur 623 K, proses reaksi dilakukan selama 120 menit. Konversi minyak nyamplung ada proses hydrocracking diperoleh produk C<sub>5</sub>-C<sub>11</sub> dan C<sub>12</sub>-C<sub>18</sub>. Persentase yield kedua jenis produk meningkat sesuai dengan penambahan rasio Co dan Mo. Produk dengan yield tertinggi pada katalis Co/Mo (1,23/3,22)/ SiO<sub>2</sub> dengan C<sub>5</sub>-C<sub>11</sub> (19,52%) dan C<sub>12</sub>-C<sub>18</sub> (53,55%). Sementara untuk katalis Co/Mo (1,23/3,22)/  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> diperoleh C<sub>5</sub>-C<sub>11</sub> (24,30%) dan C<sub>12</sub>-C<sub>18</sub> (61,28%).

**Kata kunci:** katalis CoMo; hydrocracking; minyak nyamplung

**How to Cite This Article:** Rasyid, R., Wicaksono, R.A.S., Lusita, D.D., Mahfud, dan Roesyadi, A., (2015), Efektifitas Katalis Co/Mo pada Hydrocracking Minyak Nyamplung, Reaktor, 15(4), 268-273, <http://dx.doi.org/10.14710/reaktor.15.4.268-273>

## PENDAHULUAN

*Hydrocracking* merupakan proses pemutusan rantai karbon panjang menjadi rantai karbon lebih pendek. Proses ini biasa digunakan untuk memperoleh bahan bakar seperti LPG, gasoline, kerosin, diesel dan pelumas pada industri minyak bumi (Burnens dkk., 2011). Proses tersebut dapat pula diterapkan dalam memproduksi biogasolin, biokerosin, dan biogasoil dengan bahan baku minyak nabati. Hal ini dapat dilakukan karena minyak nabati terdiri dari komponen asam lemak dengan rantai karbon panjang, seperti : laurat, Palmitat, Stearat, Oleat, Linoleat, Linolenat, Arachidat, dan lain-lain (Ong dkk., 2011). Minyak nyamplung yang digunakan pada penelitian ini terdiri atas asam oleat 58,3%, asam palmitat 18,46%, asam linoleat 12,26% dan asam stearat 11,4%. Asam lemak dihasilkan dari proses hidrogenasi trigliserida pada suhu 300-450°C dengan tekanan Hidrogen di atas 3 MPa. Asam lemak dikonversi menjadi senyawa alkana kemudian mengalami proses berturut-turut yaitu *hydrogenation*, *decarboxylation*, *decarbonylation* (Boyás dkk., 2012).

Katalis yang digunakan pada proses *hydrocracking* adalah bifungsional katalis, dimana gabungan antara katalis yang bersifat asam dan katalis logam. Logam transisi yang biasa digunakan sebagai promotor adalah Co, Mo, Ni, Cr, Zr, Pt, dan support katalis asam seperti zeolit,  $Al_2O_3$ ,  $SiO_2$ , silica alumina dan lain-lain (Pashigreva dkk., 2010; Francesco dkk., 2013; Toshiaki, 2015). Komposisi katalis logam dan asam merupakan kombinasi antara proses hidrogenasi dan *cracking* pada *hydrocracking*. Produk yang diperoleh dibagi dalam dua kategori  $C_6-C_9$  dan  $C_{10}-C_{18}$  sebagai *middle distillate* (Myung-gi dkk., 2015).

Pada umumnya katalis bifungsional tersebut melalui proses sulfidasi saat preparasi, sementara pada penelitian ini proses tersebut dihilangkan. Keuntungan tanpa proses sulfidasi adalah katalis yang dihasilkan lebih ekonomis dan bebas polutan seperti gas  $H_2S$ . Penelitian ini menggunakan katalis CoMo tanpa proses sulfidasi untuk mengkonversi minyak nyamplung (*Calophyllum inophyllum Linn*) dengan variasi ratio Co dan Mo terhadap support katalis.

## METODE PENELITIAN

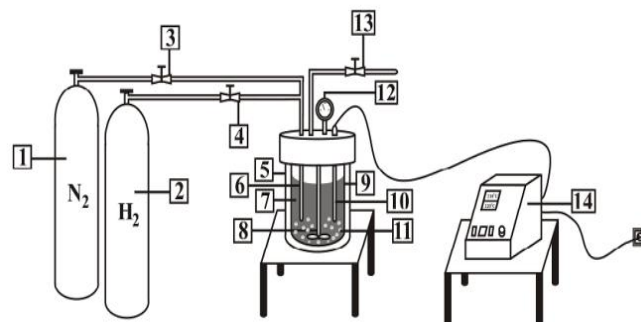
### Bahan Penelitian

Bahan baku yang akan dikonversi menjadi bahan bakar yaitu minyak nyamplung (*Calophyllum inophyllum Linn*) memiliki asam lemak minyak nyamplung: asam oleat (58,13%); asam palmitat (18,46%); asam linoleat (12,26%) dan asam stearat (11,14%). Bahan promotor katalis terdiri atas  $Co(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$  dan  $(NH_4)_6Mo_7O_{24} \cdot 4H_2O$  kedua bahan p.a 99% (Merck), untuk bahan *support* katalis  $\gamma-Al_2O_3$  (p.a, Merck),  $S_1O_2$  (p.a, Sigma Aldrich).

### Alat Penelitian

Spesifikasi alat *hydrocracking* : reaktor model series 4563 *pressure reactor system specifications*, volume 600 ml, *vessel style* : *moveable, magnetic*

*stirrer* model No. A1120HC6, *heater style* : *mantle*, *Width* : 12 in, *depth* : 18 in, *height* : 36 in.



Keterangan gambar:

1. Tabung gas  $N_2$
2. Tabung gas  $H_2$
3. Valve tube gas  $N_2$
4. Valve tube gas  $H_2$
5. Heater
6. Tube reaktor gas  $N_2/H_2$
7. Minyak nyamplung
8. Pengaduk
9. Reaktor *autoclave*
10. Thermocouple
11. Katalis
12. Indikator tekanan reaktor
13. Gas outlet valve
14. Panel kontrol heater-reaktor

Gambar 1. Reaktor *hydrocracking* minyak nyamplung

### Prosedur Penelitian

Katalis yang digunakan pada penelitian dibuat dengan menggunakan metode *wet impregnation* dimana katalis adalah CoMo diimpregnasi ke dalam support katalis. Rasio Co/Mo terdiri atas (0,24/0,64); (0,62/1,61); (1,23/3,22) yang diimpregnasikan terhadap support katalis. Katalis dikalsinasi selama 5 jam pada suhu 773 K setelah dikeringkan pada suhu 383 K. Pada tahap ini dilakukan hingga proses karakterisasi katalis dengan metode *Brunauer Emmett Teller* (BET), kristalinitas katalis dengan Difraksi Sinar X (XRD). Selanjutnya katalis tersebut digunakan untuk proses *hydrocracking* minyak nyamplung pada reaktor bertekanan dengan suhu reaksi 623 K selama 120 menit dan tekanan 3 MP. Produk *hydrocracking* menggunakan analisa GCMS (*Gas Chromatography Mass Spectrometry*).

### Analisis Katalis dan Produk

Analisis XRD menggunakan Philips PN-1830 dengan  $CuK\alpha$  radiasi 1.5406 Å at 40 kV and 30 mA. Sampel dianalisa Samples pada  $2\theta = 5-90^\circ$  dengan *step size* 0,017 dan *step time* 10,15 s.

Analisa BET katalis pada suhu 573 K selama 3 jam, tekanan untuk ads/des : 0,100/0,100, *time* = 180/180sec (ads/des). Analisa GCMS dengan model *capillary column* 19091 S-493, HP-5MS 5% *Phenyl Methyl Siloxane*, *nominal initial pressure* : 10,5 psi.

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**Katalis Co/Mo Diimpregnasi dengan Katalis SiO<sub>2</sub>**

Pola difraksi peak pada katalis (Gambar 2) berdasarkan rasio katalis Co/Mo (0,24/0,64)-SiO<sub>2</sub> menunjukkan peak 2θ = 20,86; 26,63; 36,53; 39,49; 50,13; 59,95; 67,73; dan 68,14°, katalis Co/Mo (0,62/1,61)-SiO<sub>2</sub> menunjukkan peak 2θ = 20,91; 26,69; 36,60; 39,59; 50,19; 60,04; 67,80; dan 68,38°, serta katalis Co/Mo (1,23/3,22)-SiO<sub>2</sub> menunjukkan peak 2θ = 21,02; 26,77; 36,68; 39,63; 50,26; 60,06; 67,87; dan 68,41°. Berdasarkan ICDD (*International Centre for Diffraction Data*) 00-005-0490 Silicon Oxide (SiO<sub>2</sub>), sistem kristal ini membentuk Hexagonal dengan indeks hkl 101 dengan posisi peak 2θ = 26,644°. Pada penelitian ini didapatkan peak 2θ katalis Co/Mo (0,24/0,64)-SiO<sub>2</sub> = 26,63°, peak 2θ katalis Co/Mo (0,62/1,61)-SiO<sub>2</sub> = 26,69°, dan peak 2θ katalis Co/Mo (1,23/3,22)-SiO<sub>2</sub> = 26,77°.

Katalis dengan support SiO<sub>2</sub>, terdposisi pada permukaan katalis, yakni sebagai Co<sub>3</sub>O<sub>4</sub> dengan posisi peak 2θ = 36,853° (berdasarkan ICDD 00-042-1467), sebagai MoO<sub>3</sub> dengan posisi peak 2θ = 23,015; 25,840; 27,335; 39,20° (berdasarkan ICDD 00-047-1081, ICDD 00-047-1320, dan ICDD 00-005-0508) dan sebagai CoMoO<sub>4</sub> dengan posisi peak 2θ = 30,630° (berdasarkan ICDD 01-071-2505). Pola difraksi peak katalis CoMo/SiO<sub>2</sub> berbentuk kristal yang mirip dengan katalis CoMo, peak yang terbentuk menandakan terserapnya katalis CoMo pada permukaan pori support katalis.

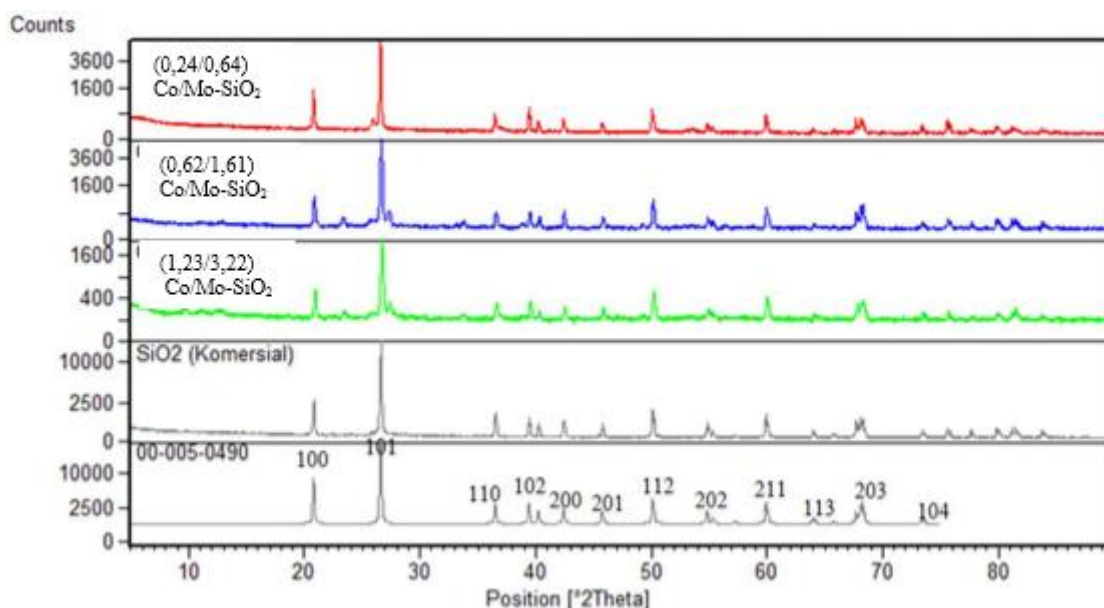
**Katalis Co/Mo Diimpregnasi dengan Katalis γ-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>**

Hasil karakterisasi katalis CoMo/γ-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dengan variasi persentase CoMo dapat dilihat pada

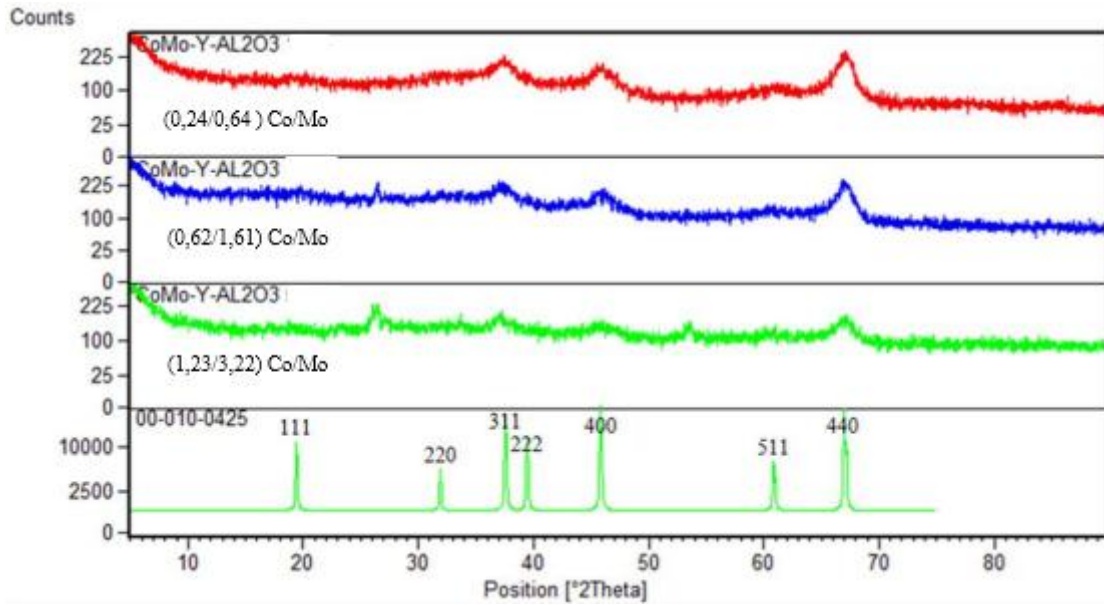
(Gambar 3), pola difraksi berbentuk amorf. Katalis (0,24/0,64) CoMo/γ-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> menunjukkan peak 2θ = 37,66; 45,99 dan 67,34°, katalis (0,62/1,61) CoMo/γ-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> menunjukkan peak 2θ = 36,94; 46,19 dan 67,39°, serta katalis (1,23/3,22) CoMo/γ-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> menunjukkan peak 2θ = 37,14; 45,79; dan 66,78°. Berdasarkan ICDD (*International Centre for Diffraction Data*) 00-010-0425 Gamma Alumina (γ-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), sistem kristal ini membentuk Cubic dengan indeks hkl nya 400 dan 440 dengan posisi peak 2θ = 45,863 dan 67,034. Pada penelitian ini sesuai dengan ICDD, didapatkan peak 2θ katalis (0,24/0,64) CoMo/γ-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> = 45,99 dan 67,34°, peak 2θ katalis (0,62/1,61) CoMo/γ-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> = 46,19 dan 67,39°, serta peak 2θ katalis (1,23/3,22) CoMo/γ-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> = 45,79; dan 66,78°.

Katalis dengan support γ-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, terdposisi pada permukaan katalis, yakni sebagai Co<sub>3</sub>O<sub>4</sub> dengan posisi peak 2θ = 36,853° (berdasarkan ICDD 00-042-1467), komponen MoO<sub>2</sub> dengan posisi peak 2θ = 26,033° (berdasarkan ICDD 00-032-0671), sebagai MoO<sub>3</sub> dengan posisi peak 2θ = 23,015; 25,840; 27,335; 39,20° (berdasarkan ICDD 00-047-1081, ICDD 00-047-1320, dan ICDD 00-005-0508) dan sebagai CoMoO<sub>4</sub> dengan posisi peak 2θ = 30,630° (berdasarkan ICDD 01-071-2505).

Penambahan rasio CoMo pada suport katalis menghasilkan luas permukaan semakin kecil (Tabel 1). Pada pori support katalis telah menempel sejumlah katalis CoMo sehingga penambahan tersebut membuat pori-pori katalis terjadi proses blokade. Peneliti sebelumnya menghasilkan pengurangan luas permukaan katalis setelah penambahan persen loading HsiW pada SiO<sub>2</sub> (Hao dkk., 2010).



Gambar 2. Kromatogram hasil analisa XRD katalis dengan rasio Co/Mo (0,24/0,64); (0,62/1,61); (1,23/3,22) terhadap support SiO<sub>2</sub>

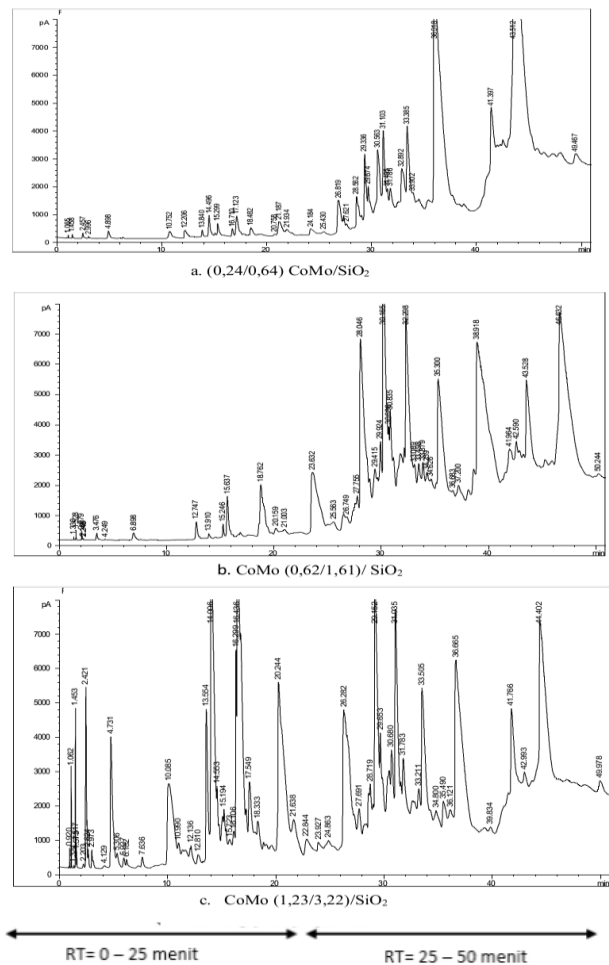


Gambar 3. Kromatogram hasil analisa XRD katalis dengan rasio Co/Mo (0,24/0,64); (0,62/1,61); (1,23/3,22) terhadap support  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$

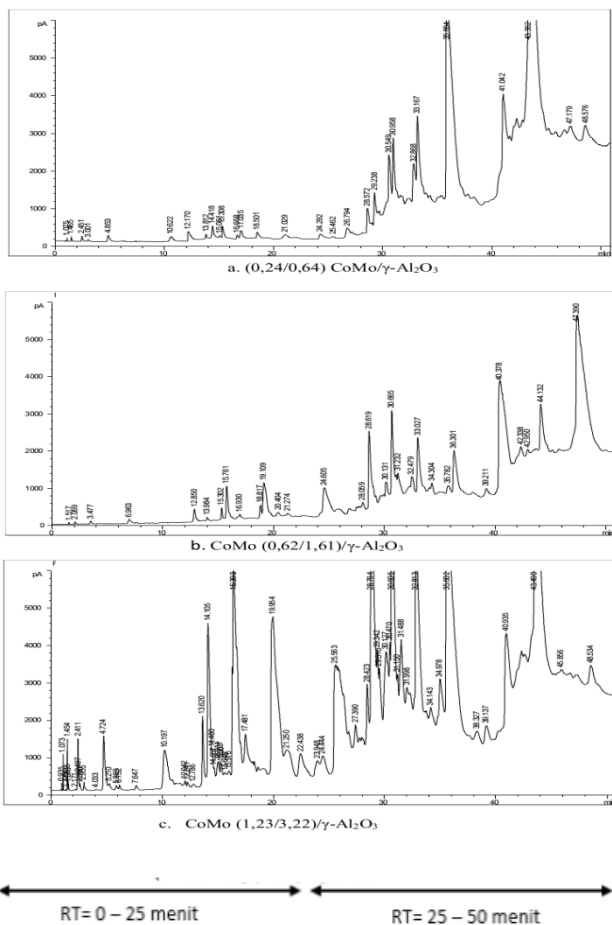
Tabel 1. Hasil analisa dengan metode BET katalis CoMo dengan support  $\text{SiO}_2$  dan  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  suhu kalsinasi 773 K selama 5 jam

Katalis	Spesifik surface area (m <sup>2</sup> /gr)
CoMo	12,04
$\text{SiO}_2$	1,73
CoMo (0,24/0,64)/ $\text{SiO}_2$	1,26
CoMo (0,62/1,61)/ $\text{SiO}_2$	0,94
CoMo (1,23/3,22)/ $\text{SiO}_2$	0,76
$\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$	170,41
CoMo (0,24/0,64)/ $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$	127,455
CoMo (0,62/1,61)/ $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$	123,852
CoMo (1,23/3,22)/ $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$	120,112

Kromatogram pada Gambar 4 menunjukkan hasil terjadi perubahan peak setiap penambahan rasio CoMo pada support katalis. Pada rasio terkecil luas area peak lebih besar pada Retention Time (RT) diatas 25 menit dibanding kurang dari menit tersebut. Setelah penambahan rasio CoMo, luas area pada kromatogram mulai bertambah untuk RT di bawah 25 menit. Luas area peak pada rasio CoMo (1,23/3,22) menunjukkan lebih besar di bawah RT 25 menit dibanding di atasnya. Hal ini menunjukkan produk dibawah RT 25 menit adalah C5-C11 dan di atasnya adalah senyawa C12-C18. Pola ini dapat juga diperoleh pada hasil *hydrocracking* menggunakan katalis CoMo/ $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  seperti yang ditampilkan pada Gambar 5.

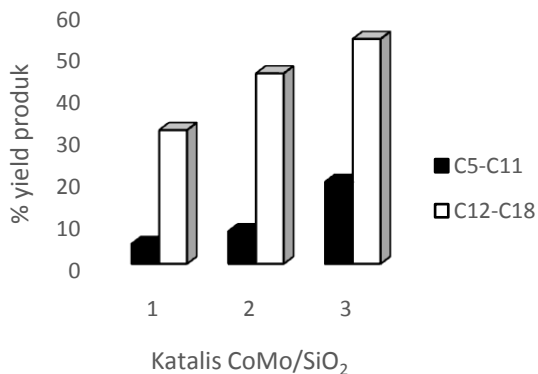


Gambar 4. Hasil analisa GC *hydrocracking* minyak nyamplung menggunakan katalis CoMo/ $\text{SiO}_2$



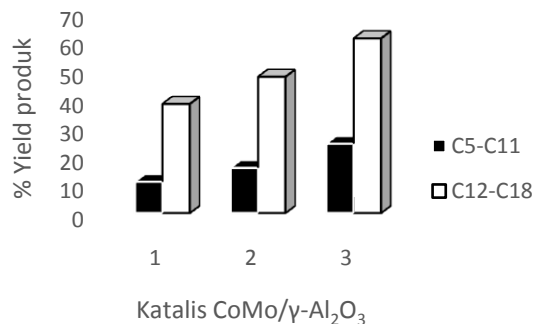
Gambar 5. Hasil analisa GC *hydrocracking* minyak nyamplung menggunakan katalis CoMo/ $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

Klasifikasi produk kedua katalis dapat dijelaskan melalui grafik hubungan antara persentase yield produk dengan jenis katalis. Hal ini disesuaikan dengan hasil analisa GC pada Gambar 4 dan 5. Jenis produk yang dihasilkan oleh kedua tipe katalis adalah C<sub>5</sub>-C<sub>11</sub> dan C<sub>12</sub>-C<sub>18</sub> yang dapat ditampilkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Hubungan antara % yield produk dengan rasio katalis CoMo/SiO<sub>2</sub>: (1) CoMo (0,24/0,64), (2) CoMo (0,62/1,61), (3) CoMo (1,23/3,22)

Penambahan rasio Co/Mo pada support katalis SiO<sub>2</sub> menghasilkan yield produk meningkat, hal ini menunjukkan kemampuan katalis CoMo untuk mengkonversi asam lemak menjadi produk (Gambar 6). Demikian pula dengan katalis CoMo/ $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dapat ditampilkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Hubungan antara % yield produk dengan rasio katalis CoMo/ $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (1)CoMo (0,24/0,64),(2) CoMo (0,62/1,61),(3) CoMo (1,23/3,22)

Berdasarkan produk yield produk, aktifitas katalis semakin baik apabila rasio Co/Mo pada support katalis ditambah. Terbentuknya ion karbenium oleh katalis asam bertambah, sehingga produk C<sub>5</sub>-C<sub>11</sub> juga meningkat. Kinerja katalis CoMo/ $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> lebih baik dibanding CoMo/SiO<sub>2</sub> karena berdasarkan karakteristik kedua katalis, dimana  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> memiliki luas permukaan yang lebih tinggi dan komponen fase yang terdepositasi pada permukaan katalis lebih banyak. Keberadaan komponen tersebut membantu terjadinya proses penyerapan hidrogen dan terbentuknya ion karbenium proses *hydrocracking* sehingga mempengaruhi terbentuknya produk. Peneliti sebelumnya menggunakan katalis NiMo/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (komersial) pada *hydrocracking soybean oil* menghasilkan C<sub>5</sub>-C<sub>11</sub> sebesar 5,1% dan C<sub>12</sub>-C<sub>18</sub> sebesar 82,5% (Atsushi dkk., 2014). Pada penelitian ini penggunaan katalis CoMo/  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tanpa proses sulfidasi memiliki performance yang baik untuk digunakan pada proses *hydrocracking*.

**KESIMPULAN**

Proses *hydrocracking* minyak nyamplung menggunakan katalis Co/Mo yang diimpregnasi ke dalam support SiO<sub>2</sub> dan  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> mampu mengkonversi asam lemak jenuh dan tak jenuh menjadi hidrokarbon C<sub>12</sub>-C<sub>18</sub> dan C<sub>5</sub>-C<sub>11</sub>. Berdasarkan uji aktivitas katalis menunjukkan hasil yang terbaik yakni Co/Mo (1,23/3,22)/  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

**DAFTAR PUSTAKA**

Atsushi, I., Naoya, F., Hiroyuki, N., and Tadanori, H., (2014), Hydrocracking of soybean oil using zeolite-alumina composite supported NiMo catalysts, *Fuel*, 134 , pp.611-617.

Boyás, S.R., Zárraga, T.F., and Loyo, H.F., (2012), *Hydroconversion of Triglycerides into Green Liquid Fuels, Hydrogenation*, Edited by Iyad Karamé, ISBN 978-953-51-0785-9, <http://dx.doi.org/10.5772/3208>, Chapter:8, pp. 187-211.

Burnens, G., Buochy, C., Guillon, E., and Martens, J.A., (2011), Hydrocracking reaction pathways of 2,6,10,14-tetramethylpentadecane model molecule on bifunctional silica–alumina and ultrastable Y zeolite catalysts, *Journal of Catalysis*, 282, pp. 145-154.

Francesco, R., Magali, B., and Sven, J., (2013), Hydrocracking of n-hexadecane on noble metal/silica–alumina catalysts, *Catalysis Today*, 214, pp. 12-18.

Hao, J., Xiaodong, Y., Xiaodan, S., Bo, Q., Weiping, F., Weizheng, W., and Huilin, W., (2010), Influence of  $H_4SiW_{12}O_{40}$  loading on hydrocracking activity of non-sulfide  $Ni-H_4SiW_{12}O_{40}/SiO_2$  catalysts, *J.Fuel*, 89, pp. 1953-1960.

Myung-gi, S., Dae-Won, L., Kwan-Young, L., and Ju, M.D., (2015), Pt/Al-SBA-15 catalysts for hydrocracking of  $C_{21}-C_{34}$  n-paraffin mixture into gasoline and diesel fractions, *Fuel*, 143, pp. 63-71.

Ong, C.H., Mahlia, I.M.T., Masjuki, H.H., and Norhasyima, S.R., (2011), Comparison of palm oil, *Jatropha curcas* and *Calophyllum inophyllum* for biodiesel: A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15, pp. 3501-3515.

Pashigreva, A.V., Bukhtiyarova, G.A., Klimov, O.V., Chesalov, Yu, A., Litvak, G.S., and Noskov, A.S., (2010), Activity and sulfidation behavior of the CoMo/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> hydrotreating catalyst: The effect of drying conditions, *Catalysis Today*, 149, pp. 19-27.

Toshiaki, H., Tomohisa, M., Katsuya, S., and Satoshi, H., (2015), Jet fuel synthesis from Fischer–Tropsch product under mild hydrocracking conditions using Pt-loaded catalysts, *Chemical Engineering Journal*, 263, pp. 178-185.