

Produksi Hidrogen dari Gliserol dengan Metode Pemanasan Konvensional Berbasis γ -Alumina

Fitria Fatmawati, Gita Shintavia, Lailatul Qadariah, dan Mahfud
 Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
 Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia
e-mail: mahfud@chem-eng.its.ac.id

Abstrak—Sumber energi alternatif diperlukan karena menipisnya cadangan bahan bakar fosil. Salah satu sumber energi alternatif adalah biodiesel. Penggunaan biodiesel dalam skala besar akan menghasilkan gliserol yang melimpah sebagai produk samping yang juga menghasilkan harga yang lebih rendah dan biodiesel dengan harga jual yang tinggi. Salah satu cara untuk mengatasi masalah ini adalah untuk mengkonversi gliserol menjadi produk yang bernilai ekonomis, salah satunya adalah hidrogen. Penelitian dilakukan dalam dua tahap, yaitu persiapan katalis dan reaksi katalitik. Ada 2 jenis katalis yang digunakan yaitu γ -Al₂O₃ dan Ni/ γ -Al₂O₃. Tahapan pada proses reaksi katalitik, yaitu memasukkan reaktan berupa larutan gliserol P.A. 85% berat sebanyak 20 ml ke dalam tangki pemanas. Kemudian memanaskan reaktan tersebut pada suhu 290°C. Larutan gliserol akan menguap dan mengalir melalui pipa menuju reaktor yang berisi 2 gram katalis dengan variabel suhu 200, 225, 250, 275, dan 300°C. Selanjutnya vapor akan dikondensasi sehingga diperoleh destilat dan non condensable gas. Data yang diperoleh adalah konsentrasi gliserol sisa dan konsentrasi hidrogen yang dianalisis menggunakan GC. Dari hasil penelitian didapatkan pengaruh suhu reaksi dan jenis katalis terhadap konversi dan yield produk. Pengaruh jenis katalis terhadap konversi gliserol dan yield menunjukkan bahwa katalis Ni/ γ -Al₂O₃ menghasilkan lebih besar daripada γ -Al₂O₃. Konversi gliserol tertinggi dicapai pada suhu 225°C sebesar 96,799% menggunakan 2 gram katalis Ni/ γ -Al₂O₃. Yield hidrogen tertinggi diperoleh pada suhu 250°C menggunakan 2 gram katalis γ -Al₂O₃, yaitu sebesar 0,000214 gram H₂/gram gliserol.

Kata kunci – Produksi Hidrogen, Gliserol, Ni/ γ -Al₂O₃, γ -Al₂O₃

I. PENDAHULUAN

Di Indonesia, kebutuhan terbesar energi fosil adalah bahan bakar minyak (BBM) dimana yang banyak digunakan adalah solar. Penggunaan solar terbesar berada dalam sektor industri dan transportasi. Sebagai upaya dalam memenuhi kebutuhan terhadap BBM, di Indonesia sudah dikembangkan biodiesel yang merupakan alternatif pengganti solar. Biodiesel merupakan campuran minyak solar dan metil ester dimana metil ester diperoleh melalui reaksi transesterifikasi minyak nabati dengan metanol menggunakan katalis NaOH dan menghasilkan produk samping berupa gliserol. Biodiesel merupakan salah satu bahan bakar terbarukan yang dapat dihasilkan dari berbagai sumber minyak nabati seperti CPO, minyak jarak dan lain-lain.

Gliserol merupakan produk samping yang dihasilkan dari produksi biodiesel yaitu sekitar 10% berat biodiesel. Seiring meningkatnya produksi biodiesel maka produksi gliserol semakin meningkat pula, sementara kebutuhan gliserol sangat terbatas. Hal ini akan menurunkan sisi ekonomisnya dan cenderung akan menjadi limbah.

Gliserol sendiri banyak dimanfaatkan dalam industri makanan, kosmetik ataupun obat-obatan, tetapi kebutuhan industri terhadap gliserol masih dalam jumlah terbatas. Selain itu gliserol dapat didegradasi menjadi senyawa lain yang bernilai ekonomis bakar seperti hidrogen [1] atau metanol [2] dan produk kimia lain yang mempunyai nilai tambah seperti *acrolein* [3] dan propana [4] dengan mendegradasi gliserol. Degradasi gliserol dapat dilakukan dengan berbagai macam proses seperti pirolisis [5], *steam reforming* [6], dan hidrogenasi katalitik [7].

Sumber energi alternatif masa depan yang sangat potensial adalah hidrogen. Hidrogen merupakan bahan bakar yang ramah lingkungan karena tidak menghasilkan polutan atau gas rumah kaca seperti NO_x, CO dan CO₂ ketika dibakar [7]. Kebutuhan hidrogen di berbagai jenis industri terus mengalami peningkatan, terutama dengan berkembangnya industri fuel cell yang membutuhkan H₂ sebagai bahan bakar [6]. Berbagai upaya untuk memproduksi hidrogen telah banyak dilakukan, namun hingga saat ini sekitar 95% H₂ masih diproduksi dari bahan bakar berbasis fosil melalui proses pirolisis atau steam reforming [6],[8] dan hanya sekitar 5% yang diproduksi melalui sumber terbarukan. Salah satu teknologi yang digunakan adalah melalui proses elektrolisis air [9]. Kedua jenis proses tersebut masih merupakan Teknologi Antara karena membutuhkan energi yang besar untuk memproduksi hidrogen [10].

Salah satu tantangan yang menarik adalah memanfaatkan gliserol sebagai sumber terbarukan (*renewable*) untuk memproduksi hidrogen. Dibandingkan dengan gas alam (CH₄) atau etanol (C₂H₅OH), penggunaan gliserol sebagai bahan baku produksi hidrogen sangat menjanjikan, mengingat secara struktur kimia gliserol (C₃H₈O₃) memiliki jumlah atom hidrogen yang jauh lebih besar, sehingga gas hidrogen yang dihasilkan akan lebih banyak. Secara teoritis (stoikiometris), yield H₂ yang dihasilkan lebih banyak yaitu tujuh 7 mol hidrogen untuk setiap satu mol reaktan gliserol melalui proses *steam reforming* seperti pada persamaan reaksi berikut [6] :

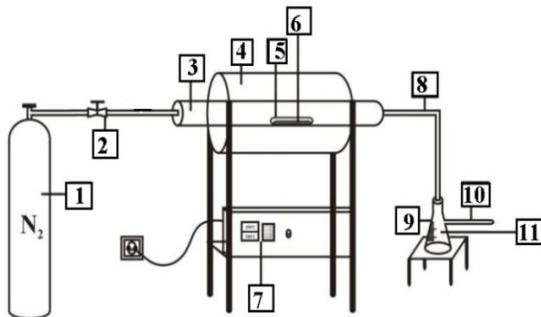


Hydrogen dapat diproduksi dari gliserol dengan teknologi pemanasan konvensional seperti *steam reforming*, pirolisis, *reforming air superkritik* yang dilakukan pada suhu tinggi. Berdasarkan uraian diatas maka penelitian ini memfokuskan untuk pirolisis gliserol menggunakan pemanasan konvensional untuk menghasilkan hidrogen menggunakan katalis. Produksi hidrogen dari gliserol dengan pemanasan konvensional pada suhu 200-300°C menggunakan katalis γ -Alumina dan Ni/ γ -Alumina. Berbagai variabel yang berpengaruh seperti suhu, jenis katalis, dan berat katalis akan dipelajari dalam penelitian ini.

II. METODE PENELITIAN

A. Persiapan Katalis

γ -alumina powder ditimbang 90%wt dari massa katalis total, lalu dilarutkan dengan aquadest. NiCl₂.6H₂O ditimbang 10%wt dari massa katalis total, lalu dilarutkan dalam aquadest sebanyak 25 mL, masing-masing pengadukan selama 30 menit pada suhu 30°C. Larutan NiCl₂.6H₂O disemprotkan sedikit demi sedikit ke dalam larutan γ -alumina sambil diaduk selama 1 jam, lalu diuapkan pada suhu 70°C sambil diaduk. Menghilangkan kandungan air yang masih tersisa menggunakan oven selama 24 jam pada suhu 110°C. Katalis digerus sampai halus kemudian dilakukan kalsinasi dan reduksi pada suhu 500°C, dialiri oksigen selama 4 jam dan dilanjutkan dialiri hidrogen selama 3 jam. Diperoleh katalis Ni/ γ -alumina. Katalis yang telah dikalsinasi lalu dianalisa dengan X-ray Diffraction dan BET. Peralatan proses kalsinasi dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 1. Skema Peralatan Kalsinasi

Keterangan alat :

- 1) Tabung gas N₂
- 2) Valve tube gas N₂
- 3) Reaktor Kalsinasi
- 4) Furnace
- 5) Crucible boat
- 6) Katalis
- 7) Panel kontrol furnace
- 8) Tube gas outlet
- 9) Erlenmeyer
- 10) Gas keluar
- 11) Air

B. Reaksi Katalitik

Penelitian ini di mulai dengan memasukkan katalis yang telah dikalsinasi sebelumnya ke dalam reaktor. Menyalakan reaktor pada suhu yang sesuai dengan variabel. Mengalirkan air pendingin pada kondensor, lalu memasukkan reaktan berupa larutan gliserol P.A. 85% berat sebanyak 20 mL ke

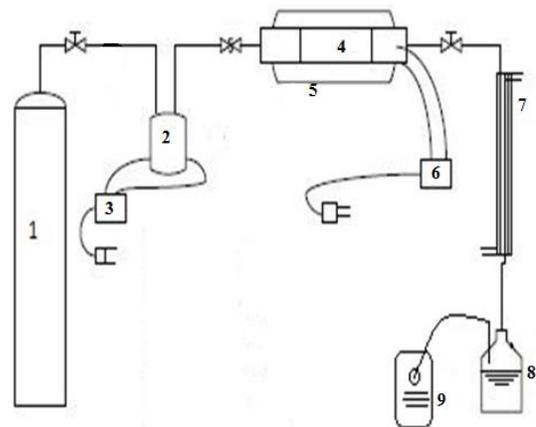
dalam tangki pemanas. Kemudian memanaskan reaktan tersebut pada suhu 290°C dan mengalirkan gliserol dengan bantuan gas N₂ sebagai gas pembawa ke dalam reaktor. Larutan gliserol yang menguap akan mengalir melalui pipa menuju reaktor yang berisi 2 gram katalis dengan variabel suhu 200, 225, 250, 275, dan 300°C. Selanjutnya vapor akan dikondensasi sehingga diperoleh destilat dan non condensable gas.

Data yang diperoleh adalah konsentrasi gliserol akhir yang di dapat dari menitrasi gliserol sisa dan untuk menentukan konsentrasi hidrogen didapat dengan cara dianalisis menggunakan GC. Adapun besaran yang dihitung yaitu yield dan konversi.

$$\text{Yield} = \frac{\text{massa produk}}{\text{massa gliserol awal}}$$

$$\text{Konversi gliserol} = \frac{C_{AO} - C_A}{C_{AO}} \times 100\%$$

Rangkaian proses katalitik dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 2. Skema Peralatan Degradasi Gliserol

Keterangan alat :

- 1) Tabung gas N₂
- 2) Tangki penguap gliserol
- 3) Panel kontrol tangki
- 4) Reaktor
- 5) Heater mantle
- 6) Panel kontrol furnace
- 7) kondensor
- 8) Gas non condensable
- 9) Teadlar bag

III. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

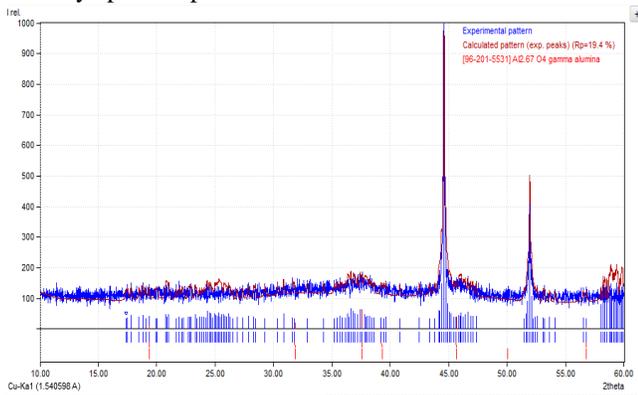
A. Uji Karakteristik Katalis

Karakteristik dari katalis dapat menggunakan beberapa teknik analisa diantaranya yaitu BET dan XRD. Brunauer Emmet Teller (BET) digunakan untuk mengukur luas permukaan (*surface area*). Sedangkan X-ray Diffraction (XRD) digunakan untuk mengidentifikasi fasa kristalis dalam material dengan cara menentukan parameter struktur kisi serta mendapatkan ukuran partikel. Pola XRD diperoleh menggunakan X'pert Philips dengan K-alpha radiasi pada

panjang gelombang 1.54056 Angstrom di antara sudut 10⁰ dan 50⁰ dalam 2θ [11].

Berdasarkan hasil analisa BET diperoleh luas permukaan katalis γ-Al₂O₃ sebesar 118,345 m²/g. Dan untuk katalis Ni/γ-Al₂O₃ diperoleh luas permukaan sebesar 123,042 m²/g. Sedangkan standard sifat fisik γ-Al₂O₃ memiliki *range area* sebesar 80-150 m²/g [12]. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa kedua katalis telah memenuhi standart, sehingga kedua katalis layak untuk digunakan.

Hasil analisa XRD pada gambar 3 adalah hasil analisa XRD untuk katalis Ni/ γ-Al₂O₃. Puncak-puncak peak pada Gambar 3 menunjukkan *relative intensity* dari kristal yang terdapat dalam katalis dan Tabel 1 merupakan data sudut saat munculnya puncak peak.



Gambar 3. Hasil Analisa XRD Ni/γ-Al₂O₃

Tabel 1. Data Sudut Munculnya *Relative Intensity*

Hasil Analisa		Standard	
Pos. [°2Th.] Gamma Alumina	Pos. [°2Th.] Ni/Gamma Alumina	Pos. [°2Th.] γ-Al ₂ O ₃ (database JCPDS No. 47-1308)	Pos. [°2Th.] Ni (database JCPDS No. 04-0850)
37.1934	11.2708	37.31	44.508
37.8966	12.6971	43.29	51.847
39.5677	30.807	45.82	76.372
45.5087	32.2025	67.36	92.947
	36.3502	85.09	98.449
	37.4767		121.936
	40.1951		144.679
	44.511		155.666
	44.6262		
	51.8578		
	51.9982		
	56.1958		

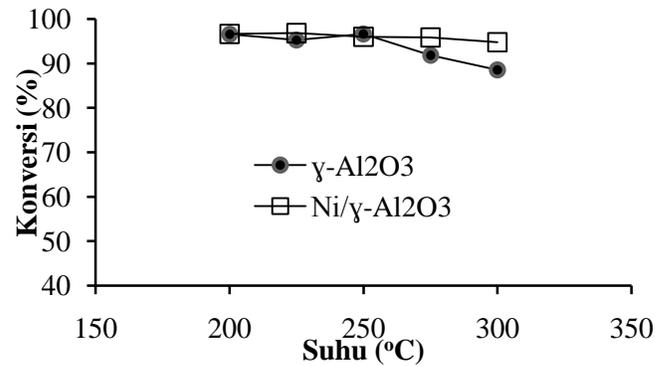
Dari data munculnya *relative intensity*, dapat dilihat bahwa sudut-sudut pada katalis Ni/γ-Al₂O₃ memiliki kemiripan dengan sudut standard Ni dan γ-Al₂O₃. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa Ni telah terimpregnasi pada γ-Al₂O₃.

B. Pengaruh Suhu Terhadap Konversi Gliserol dan Yield

B.1 Pengaruh Suhu Terhadap Konversi Gliserol

Pada penelitian degradasi gliserol menjadi hidrogen ini digunakan variasi suhu 200 °C, 225 °C, 250 °C, 275 °C, dan

300°C. Studi pengaruh suhu ini diamati pada kondisi tekanan operasi 1 atm dan waktu proses 4 menit.

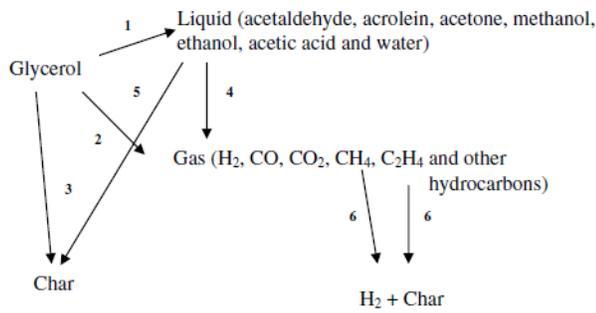


Gambar 4. Pengaruh Suhu Reaksi Terhadap Konversi Gliserol

Dari Gambar 4 terlihat bahwa konversi gliserol menggunakan katalis γ-Al₂O₃ dan Ni/γ-Al₂O₃ tidak jauh berbeda. Pada suhu 200°C, gliserol telah terkonversi menjadi produk gas (H₂ dan CO₂) dan produk liquid seperti *acrolein*, *methanol*, *allyl alcohol* dengan menggunakan kedua katalis. Konversi gliserol menggunakan katalis Ni/γ-Al₂O₃ cenderung memberikan konversi yang lebih besar yaitu 96,618%, sedangkan konversi gliserol menggunakan katalis γ-Al₂O₃ sebesar 96,527%. Kemudian suhu reaksi dinaikkan menjadi 225°C sehingga terjadi konversi gliserol sebesar 96,839% menggunakan katalis Ni/γ-Al₂O₃ sedangkan dengan katalis γ-Al₂O₃, terjadi konversi yang lebih kecil yaitu 95,265%. Pada suhu 250°C, konversi gliserol untuk katalis γ-Al₂O₃ mengalami kenaikan, yaitu 96,619%. Namun berbeda dengan katalis Ni/γ-Al₂O₃ yang mengalami penurunan, yaitu 95,986%. Pada suhu 275°C, konversi gliserol menurun untuk katalis Ni/γ-Al₂O₃ dan γ-Al₂O₃ yaitu berturut-turut sebesar 95,854% dan 91,781%. Pada suhu 300°C, keduanya kembali mengalami penurunan, konversi sebesar 94,740% untuk katalis Ni/γ-Al₂O₃ dan 88,492% untuk katalis γ-Al₂O₃.

γ-Al₂O₃ diketahui sebagai salah satu katalis yang dapat digunakan pada reaksi degradasi karena memiliki sifat keasaman seperti katalis Ni/γ-Al₂O₃. Namun, γ-Al₂O₃ memiliki luas permukaan yang lebih kecil daripada Ni/γ-Al₂O₃ yaitu sebesar 118 m²/gram [10]. Dari Gambar 4, konversi gliserol dengan katalis Ni/γ-Al₂O₃ cenderung lebih tinggi daripada konversi gliserol dengan katalis γ-Al₂O₃. Hasil penelitian terdahulu yang dilakukan Adhikari et al. (2007) juga menyebutkan bahwa penggunaan katalis Ni/γ-Al₂O₃ memiliki nilai konversi gliserol tertinggi dibandingkan katalis lainnya.

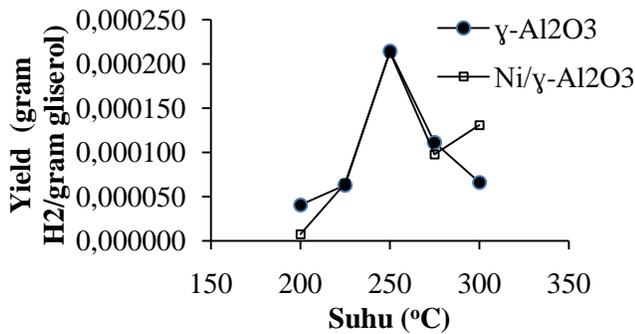
Berikut ini adalah reaksi-reaksi yang mungkin terjadi akibat pemanasan gliserol. Menurut penelitian sebelumnya proses degradasi gliserol menjadi hidrogen dapat menggunakan metode pirolisis pada suhu operasi antara 650-800°C [5], berikut reaksi pathyway dari proses pirolisis gliserol:



Reaksi Pathways dari Proses Pirolisis Gliserol

B.1 Pengaruh Suhu Terhadap Yield

Berikut ini merupakan grafik hubungan antara suhu reaksi terhadap yield pada variabel suhu 200 °C, 225 °C, 250 °C, 275 °C, dan 300°C dengan massa katalis sebanyak 2 gram dan waktu reaksi 4 menit.



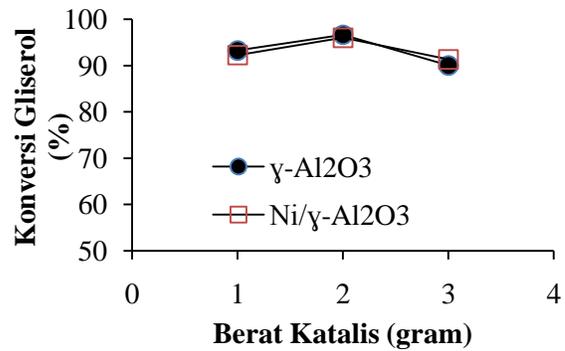
Gambar 5. Pengaruh Suhu Reaksi Terhadap Yield

Dari Gambar 5 terlihat bahwa yield yang dihasilkan dengan menggunakan katalis Ni/ γ -Al₂O₃ lebih besar daripada menggunakan katalis γ -Al₂O₃. Pada suhu 200°C -250°C trend grafik yield cenderung naik seiring dengan bertambahnya suhu. Yield terbesar yang dihasilkan menggunakan katalis Ni/ γ -Al₂O₃ mencapai 0,000213 pada suhu 250°C. Sedangkan untuk yield terbesar yang dihasilkan menggunakan katalis γ -Al₂O₃ mencapai 0,000214 pada suhu 250°C. Pada suhu 275°C, yield untuk katalis γ -Al₂O₃ dan Ni/ γ Al₂O₃ mengalami penurunan, yaitu berturut-turut sebesar 0,000111 dan 0,000098. Pada suhu 300°C untuk katalis γ -Al₂O₃, yield menurun yaitu sebesar 0,000066. Namun pada suhu 300°C untuk katalis Ni/ γ -Al₂O₃, yield mengalami kenaikan tetapi tidak terlalu signifikan yaitu sebesar 0,000131. Hal ini terjadi karena metanol pada suhu tinggi akan memecah menjadi hidrogen. Yield yang dihasilkan menggunakan kedua katalis cenderung kecil. Hal tersebut diakibatkan terbentuknya produk lain selain H₂, seperti *acrolein* (0,002573), *methanol* (0,00144), *allyl alcohol* (0,0026) yang terdeteksi setelah dilakukan analisa GC.

C. Pengaruh Berat Katalis Terhadap Konversi Gliserol dan Yield Pada Suhu 250°C

C.1 Pengaruh Berat Katalis Terhadap Konversi Gliserol

Berikut ini merupakan grafik hubungan antara berat katalis terhadap konversi gliserol yang dioperasikan pada variabel berat katalis 1grm, 2grm, dan 3grm dengan waktu reaksi 4 menit dan suhu 250°C, karena pada suhu 250°C menghasilkan yield yang paling besar di banding dengan suhu lainnya.

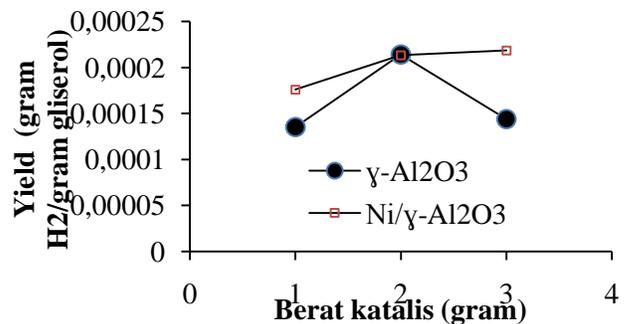


Gambar 6. Pengaruh Berat Katalis Terhadap Konversi Gliserol

Gambar 6 terlihat bahwa konversi gliserol menggunakan katalis γ -Al₂O₃ dan Ni/ γ -Al₂O₃ tidak jauh berbeda. Gliserol telah terkonversi menjadi produk gas (H₂ dan CO₂) dan produk liquid seperti *acrolein*, *methanol*, *allyl alcohol*. Pada range berat katalis 1-3 gram, konversi terbesar terjadi pada berat katalis 2 gram. Pada katalis Ni/ γ -Al₂O₃, konversi terbesarnya mencapai 95,986%, lebih kecil dari penggunaan katalis γ -Al₂O₃ yang mencapai 96,619%. Dari Gambar 6 juga terlihat bahwa tidak terjadi perubahan konversi gliserol yang signifikan seiring bertambahnya massa katalis yang digunakan.

C.1 Pengaruh Berat Katalis Terhadap Yield

Berikut ini merupakan grafik hubungan antara berat katalis terhadap yield, yang dioperasikan pada variabel berat katalis 1grm, 2grm, dan 3grm dengan waktu reaksi 4 menit dan suhu 250°C, karena pada suhu 250°C menghasilkan yield yang paling besar di banding dengan suhu lainnya.



Gambar 7. Pengaruh Berat Katalis Terhadap Yield

Dari Gambar 7 terlihat jelas bahwa yield yang dihasilkan dengan menggunakan katalis Ni/ γ -Al₂O₃ cenderung lebih besar daripada menggunakan katalis γ -Al₂O₃. Kedua katalis menunjukkan yield terbesar pada variabel berat katalis 2 gram dengan suhu 250°C. Yield terbesar yang dihasilkan

menggunakan katalis Ni/ γ -Al₂O₃ mencapai 0,000218, sedangkan menggunakan katalis γ -Al₂O₃ mencapai 0,000214. Yield yang dihasilkan menggunakan kedua katalis jauh lebih kecil dibandingkan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Adhikari et al. (2007). Hal ini disebabkan oleh penentuan variabel suhu yang jauh lebih tinggi, yaitu berkisar antara 600-900°C, sehingga proses degradasi dapat berlangsung jauh lebih baik.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang dilakukan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Degradasi gliserol dapat dilakukan dengan metode pemanasan secara konvensional dengan bantuan katalis γ -Al₂O₃ dan Ni/ γ -Al₂O₃ dimana produknya adalah gas (H₂ dan CO₂) dan liquid (metanol, *acrolein*, *Allyl alcohol* dan NID (Non-Identified) produk).
2. Konversi gliserol tertinggi dicapai pada suhu 225°C dengan konversi sebesar 96,799% menggunakan 2 gram katalis Ni/ γ -Al₂O₃
3. Yield hidrogen tertinggi diperoleh pada suhu 250°C dengan berat katalis 2 gram γ -Al₂O₃, yaitu sebesar 0,000214 gram H₂/gram gliserol.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kepala Laboratorium, Dosen Pembimbing dan Anggota Laboratorium Teknologi Proses Jurusan Teknik Kimia Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya yang telah memberikan dukungan dalam pelaksanaan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Byrd, A.J., K.K. Pant, dan R.B. Gupta. 2008. *Hydrogen Production from Glycerol by Reforming in Supercritical Water Over Ru/Al₂O₃ Catalyst*. Fuel 87.
- [2] Tsukuda, E., S. Sato, R. Takahashi, dan T. Sodesawa. 2007. *Production of acrolein from glycerol over silica-supported heteropoly acids*. *Catalysis Communications*, 8, hal. 1349–1353.
- [3] Wang, F., D. Jean-Luc, dan W. Ueda. 2009. *Catalytic dehydration of glycerol over vanadium phosphate oxides in the presence of molecular oxygen*. *Journal of Catalysis* 268.
- [4] Murata, K., I. Takahara, dan M. Inaba. 2007. *Propane Formation By Aqueous-Phase Reforming Of Glycerol Over Pt/H-ZSM5 Catalysts*. Akademiai, Kiado, Budapest. Hal 59-66.
- [5] Valliyapan, T., N.N. Bakhshi, dan A.K. Dalai. 2007. *Pyrolysis of Glycerol For The Production of Hydrogen or Syngas*. *Bioresource Technology*, 99, hal. 4476-4483.
- [6] Adhikari, S., S. Fernando, dan A. Haryanto. 2007. *Production of Hydrogen By Steam Reforming of Glycerin Over Alumina-Supported Metal Catalysts*. *Catal Today* 129, hal. 355–364.
- [7] Daskalaki, M. Vasileia, Kondarides, dan I. Dimitris. 2008. *Efficient Production of Hydrogen by Photo Induced Reforming of Glycerol at Ambient Conditions*. *J. Catal.* Volume 144, 75-80.
- [8] Iriando A., V.L. Barrio, J.F. Cambra, P.L. Arias, M.B. Güemez, R.M. Navarro, M.C. Sanchez-Sanchez, dan J.L.G. Fierro. 2009. *Influence of La₂O₃ modified support and Ni and Pt active phases on glycerol steam reforming to produce hydrogen*. *J Catal. Commun.*
- [9] Park H., C.D. Vecitis, C. Wonyong, W. Oleh, dan M.R. Hoffmann. 2008. *Solar Powered Production of Molecular Hydrogen from Water*. *The Journal of Physical Chemistry C Letters*, Volume 112, hal 885 – 889.

- [10] Nianjun L., Z. Jiang, H. Shi, F. Cao, T. Xiao, dan P.P Edwards. 2009. *Photo-catalytic conversion of oxygenated hydrocarbons to hydrogen over heteroatom-doped TiO₂ catalysts*. *J Catal.*, Volume 34, 125–129
- [11] Oktarinda D, Yuanita G, dan Achmad R. 2012. *Pembuatan Gliserol Karbonat dari Gliserol dengan katalis Berbasis Nikel*, hal. 31-32.
- [12] Rozita Y., Brydson R., dan A J Scott. 2010. *An investigation of commercial gamma-Al₂O₃ nanoparticles*, 241, hal.2