



Preliminary Study of Formic Acid Synthesis from Biomass

Tedi Hudaya¹, Felicia Kristianti², and Tatang Hernas Soerawidjaja^{3*}

^{1,2}Program Studi Teknik Kimia, FTI, UNPAR, Jalan Ciumbuleuit 94, Bandung

³Program Studi Teknik Kimia, FTI, ITB, Jl. Ganesha No.10, Bandung

*E-mail: thsoerawidjaja@gmail.com

Abstract

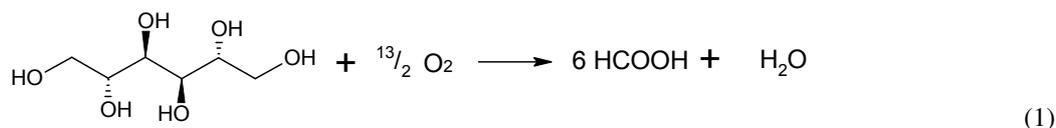
Hydrogen is considered as one of the energy sources can provide emission-free application. However, one of the difficulties of using hydrogen is the coherent characteristic of hydrogen, that obstruct the efficient and safe storage of the hydrogen. Therefore concepts for the liquid phase storage under ambient condition using formic acid have received many attention, so that formic acid synthesis methods that is economically feasible and environmentally friendly is need to be known. One of them is oxidation sorbitol to form formic acids. This research will begin with synthesis of $H_3PV_2Mo_{10}O_{40}$ as catalyst. Preliminary experiments is done by varying reaction time (15,20, 25, 30, 60, 120, 180 minutes) to get the most favorable time. The main experiments will be done by varying pressure, temperature, and the catalyst's in the exact reaction time. All of the oxidation reaction product then is analyzed using HPLC. The results show that the conversion of sorbitol is usually achieved at almost 100%, and the maximum yield that is achieved (75,40%) at 25 bar, 140°C, and 0,6% w/w. The effects of temperature to conversion of sorbitol and yield of formic acid is significant. The effect pressure to conversion and yield is significant at 120°C, but slightly insignificant at the other variation. The effects of catalyst concentration is insignificant to conversion of sorbitol, but is significant to the yield of formic acid.

Keywords: biomass, formic acid, heteropolyacid, oxidation, sorbitol

Pendahuluan

Hidrogen adalah salah satu unsur kimia yang berperan penting dalam proses industri, dimana sebagian besar hidrogen digunakan dalam reaksi hidrogenasi, seperti dalam *catalytic cracking*, desulfurisasi, hidrogenasi batubara, dan proses lainnya (Haussinger, dkk., 2010). Dalam perkembangannya, hidrogen juga diajukan sebagai salah satu alternatif sumber energi alternatif pengganti minyak bumi, gas alam, dan batu bara, yang dapat dibaharukan, dapat tersedia secara konstan, dan ramah lingkungan. (Schmidt, dkk., 2014)

Dalam pengembangan dan penggunaan hidrogen ini, wujud gas hidrogen dalam kondisi ruang, dengan densitas yang rendah menimbulkan permasalahan dalam proses penyimpanan dan distribusi hidrogen. Di tengah permasalahan ini, asam format kemudian diajukan sebagai salah satu senyawa pembawa hidrogen (*hydrogen carrier* yang berwujud cair dalam kondisi ruang, dimana reaksi dekomposisi asam format akan menghasilkan gas hidrogen dan karbon dioksida (Grasemann dan Laurenczy, 2012). Hal inilah yang membuat diperlukannya sebuah metode sintesis asam format yang dapat digunakan dalam jumlah besar, ekonomis, dan bersumber dari bahan baku yang dapat diperbaharui, salah satunya adalah biomassa. Sorbitol sebagai salah satu senyawa yang dapat diproduksi dari biomassa, memiliki potensi yang cukup baik karena tidak memiliki cincin piranosa (Solomons dan Fryhle, 2011), sehingga dapat dioksidasi dengan tekanan dan temperatur yang lebih rendah, serta diperkirakan dapat menghasilkan konversi dan *yield* asam format yang cukup baik.



Pada penelitian ini, asam format disintesis melalui reaksi oksidasi dari sorbitol, dengan berbagai variasi sehingga diperoleh konversi dari sorbitol dan perolehan dari asam format yang optimum. Persamaan reaksi oksidasi sorbitol membentuk asam format disajikan pada persamaan 1. Penelitian akan dimulai dengan sintesis katalis $H_3PV_2Mo_{10}O_{40}$ yang akan digunakan pada percobaan pendahuluan dan utama. Kemudian, akan dilakukan percobaan pendahuluan yang bertujuan untuk mencari waktu reaksi yang tepat digunakan dalam berbagai variasi



pada percobaan utama. Percobaan utama kemudian dilakukan dengan variasi tekanan, temperatur, dan konsentrasi katalis. Hasil dari semua percobaan kemudian akan dianalisa dengan menggunakan *High Performance Liquid Chromatography* (HPLC).

Metode Penelitian

Sintesis Katalis $H_5PV_2Mo_{10}O_{40}$. Katalis $H_5PV_2Mo_{10}O_{40}$ disintesis dengan melarutkan 3,4587 gram $NaVO_3$ dalam 14,3 mL air RO yang sudah mendidih. Larutan ini kemudian dicampurkan dengan 1,0142 gram $NaHPO_4$ yang sudah dilarutkan dalam 14,3 ml air RO. Campuran tersebut kemudian didinginkan hingga suhu ruang. Setelah mencapai suhu ruang, Larutan ditambahkan 0,72 ml H_2SO_4 pekat dan 17,2857 gram $Na_2MoO_4 \cdot 2H_2O$ yang sudah dilarutkan dalam 28,6 ml *aquademin*. Larutan diaduk dengan cepat, dan 12,14 ml H_2SO_4 pekat ditambahkan sedikit demi sedikit selama ± 10 menit. Kemudian, larutan didinginkan hingga suhu ruang selama ± 1 jam. $H_5PV_2Mo_{10}O_{40}$ kemudian diekstrak reaktifkan dengan 71,43 ml dietil Fasa *heteropoly etherate* yang terletak di bagian bawah kemudian dipisahkan dengan corong pisah lalu dikering-anginkan. Pasta yang tertinggal dilarutkan dalam 7,14 ml air, dan dikeringkan dengan menggunakan oven vakum pada suhu $103^{\circ}C$. Kristal yang terbentuk (berwarna merah) difiltrasi, dibilas dengan air, dan dikeringkan di udara (Tsigdinos dan Hallada, 1968).

Proses Oksidasi Sorbitol. 200mg sorbitol, 20 mL air RO, dan katalis $H_5PV_2Mo_{10}O_{40}$ dengan konsentrasi sesuai dengan variasi percobaan awalnya diaduk hingga homogen dan dimasukkan kedalam reaktor. Reaktor *dipurge* dengan oksigen, kemudian oksigen dimasukkan ke dalam reaktor hingga tekanan dalam reaktor mencapai tekanan variasi percobaan. Suhu larutan dalam reaktor juga diatur hingga sesuai dengan variasi percobaan yang dilakukan. Pada percobaan pendahuluan, reaksi berlangsung selama variasi waktu reaksi yang dilakukan. Sedangkan dalam percobaan utama, reaksi berlangsung selama waktu reaksi optimum yang ditentukan dari percobaan pendahuluan. Setelah reaksi berlangsung, reaktor didinginkan hingga mencapai suhu ruang. Produk dalam reaktor kemudian dianalisa dengan menggunakan HPLC.

Analisa. Terdapat dua jenis analisa yang dilakukan, yaitu kualitatif dan kuantitatif. Analisa kualitatif dilakukan dengan memisahkan asam format dan air dari katalis dan sisa sorbitol melalui proses distilasi. Ekstrak kemudian diamati warna, bau, dan pHnya. Analisa kualitatif dilakukan dengan membuat kurva standar sorbitol (0 – 70 ppm) dan asam format (0 – 200 ppm), sehingga didapat hubungan antara luas *peak* dan konsentrasi. Larutan sampel yang akan dianalisa kemudian diencerkan sebanyak 150x dengan air RO, kemudian dianalisa dengan menggunakan HPLC, lalu dibandingkan dengan kurva standar untuk mengetahui konsentrasi sorbitol dan asam formatnya. Konversi sorbitol kemudian dihitung dengan persamaan 2, sementara *yield* asam format dihitung menggunakan persamaan 3.

$$\text{Konversi} = \frac{[\text{sorbitol}]_{\text{awal}} - [\text{sorbitol}]_{\text{produk}}}{[\text{sorbitol}]_{\text{awal}}} \times 100 \% \quad (2)$$

$$\text{Yield} = \frac{\text{Massa karbon pada asam format produk}}{\text{Massa karbon dalam sorbitol di larutan awal}} \times 100\% \quad (3)$$

Variasi. Variabel yang diteliti dalam percobaan pendahuluan adalah waktu reaksi (15, 20, 25, 30, 60, 120, 180 menit). Sedangkan variabel yang diteliti dalam percobaan utama adalah tekanan (15 dan 25 bar), temperatur (120, 140, dan $160^{\circ}C$), konsentrasi katalis (0,3% dan 0,6%w/w).

Hasil dan Pembahasan

Sintesis Katalis $H_5PV_2Mo_{10}O_{40}$. Katalis disintesis dengan menggunakan metode pengasaman dengan asam anorganik (H_2SO_4) dan ekstraksi reaktif dengan larutan eter (Tsidignos, 1968), Reaksi umum sintesis katalis *heteropolyacid* ini disajikan pada persamaan 4 berikut.

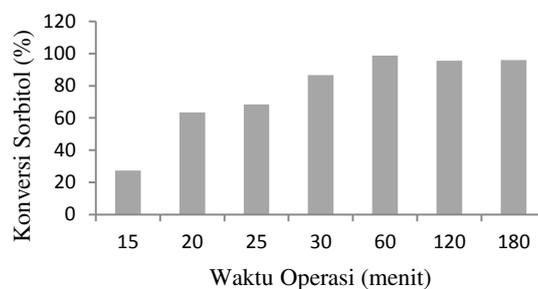


Pada sintesis katalis ini terdapat dua tahapan yang penting, yaitu penambahan asam sulfat dan tahapan ekstraksi dengan dietil eter. Penambahan asam sulfat dilakukan secara perlahan, yang bertujuan untuk menjaga suhu larutan, karena reaksi antara H_2SO_4 dan air bersifat sangat eksotermis yang dapat memicu timbulnya uap panas. Sementara setelah diekstraksi dengan dietil eter, terbentuknya tiga fasa pada campuran.. Fasa pertama yang berwarna kuning bening adalah dietil eter berlebih yang tidak bereaksi dengan *heteropolyacid* yang terbentuk. Fasa kedua berwarna merah bening dan adalah air RO dan senyawa – senyawa anorganik lainnya yang terbentuk pada reaksi pembentukan katalis. Fasa ketiga berwarna merah gelap dan adalah fasa *heteropolyetherate* yang adalah produk katalis yang berikatan dengan eter. Fasa inilah yang kemudian dipisahkan dan diuapkan eternya. Ketiga fasa ini memiliki warna yang sesuai dengan prosedur yang dijelaskan oleh Tsidignos (1968). Massa kristal katalis yang didapat setelah pengeringan sebesar 3,768 gram, lebih sedikit apabila dibandingkan dengan *yield* teoritis kristal katalis yang seharusnya didapat (5 gram). Hal ini disebabkan

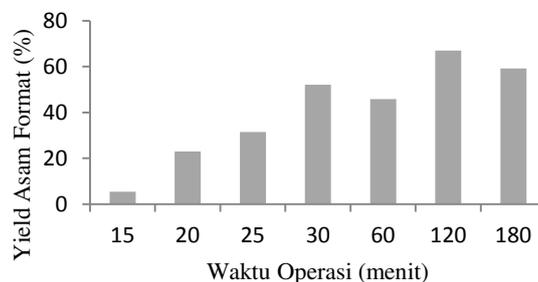
akibat adanya proses pemisahan yang tidak sempurna, sehingga perolehan kristal katalis berkurang. Secara kualitatif, kristal katalis yang diperoleh setelah pencucian berwarna merah, yang telah sesuai dengan yang didapatkan pada prosedur yang ada (Tsigdinos, 1968).

Proses oksidasi sorbitol menjadi asam format adalah tahap utama dalam penelitian ini, dimana diharapkan didapat konversi sorbitol dan yield asam format yang optimum dari variasi penelitian yang dilakukan. Tahap ini dibagi menjadi dua bagian, yaitu percobaan pendahuluan dan percobaan utama.

Percobaan Pendahuluan. Percobaan ini dilakukan pada tekanan, suhu, dan konsentrasi katalis yang konstan yaitu pada 15 bar, 120°C, dan 0,03%-mol larutan. Dari percobaan pendahuluan ini, didapat konversi sorbitol yang disajikan pada Gambar 1 berikut.



(a)



(b)

Gambar 1. Grafik pengaruh waktu operasi terhadap (a) konversi sorbitol (b) yield asam format

Hasil eksperimen menunjukkan bahwa konversi sorbitol semakin meningkat seiring dengan bertambahnya waktu operasi, dan kemudian konstan setelah waktu operasi 60 menit, dimana konversi sorbitol sudah mencapai 95 – 98%. Peningkatan konversi sorbitol terlihat secara signifikan hingga waktu operasi 30 menit, dimana konversi sorbitol telah mencapai 86,683%. Selain itu, penentuan waktu operasi dilakukan tersebut pada tekanan, suhu, dan konsentrasi katalis yang paling rendah. Diperkirakan pada tekanan, suhu, dan konsentrasi katalis yang lebih tinggi, akan diperoleh konversi dan *yield* yang lebih tinggi (Wang, 2014). Oleh karena itu, waktu operasi 30 menit dipilih, dimana konversi sorbitol telah cukup tinggi dan pengaruh variasi terhadap konversi sorbitol dapat terlihat dengan lebih jelas.

Sedangkan, pada pengaruh waktu operasi terhadap yield dari asam format, didapat kecenderungan dimana peningkatan waktu operasi diiringi oleh peningkatan perolehan dari asam format pada larutan hingga waktu operasi 30 menit, lalu mulai stabil hingga waktu operasi tiga jam, dimana perolehan asam format mencapai 59 – 66 %. Hal ini juga dapat menjadi indikasi bahwa produk asam format tidak teroksidasi lebih jauh pada kondisi operasi. Untuk mengetahui apakah pada kondisi operasi yang diambil asam format dapat teroksidasi lebih lanjut, dilakukan juga run tambahan dengan substrat asam format dengan kondisi operasi yang sama ($P = 15$ bar, $T = 120^{\circ}\text{C}$, $[\text{Katalis}] = 0,3\% \text{-b}$). Berdasarkan hasil analisa, didapat konversi asam format sebesar 1,97%, yang dapat diasumsikan asam format tidak teroksidasi lebih lanjut.

Percobaan utama dilakukan dengan memvariasikan tekanan, suhu, dan konsentrasi katalis selama waktu operasi reaksi (30 menit). Dari semua *run*, didapat produk berupa larutan dengan warna yang sama, yaitu oranye bening, dan memiliki bau asam semut yang cukup menyengat. Warna oranye pada larutan disebabkan terlarutnya katalis $\text{H}_5\text{PV}_2\text{Mo}_{10}\text{O}_{40}$. Apabila asam format dipisahkan melalui distilasi, didapatkan distilat berupa cairan bening dengan bau yang menyengat, sedangkan sisa distilasi (*bottom product*) yang didapat berupa cairan berwarna hitam pekat. Komposisi dari distilat adalah asam format dan air. Hal ini disebabkan proses distilasi dilakukan

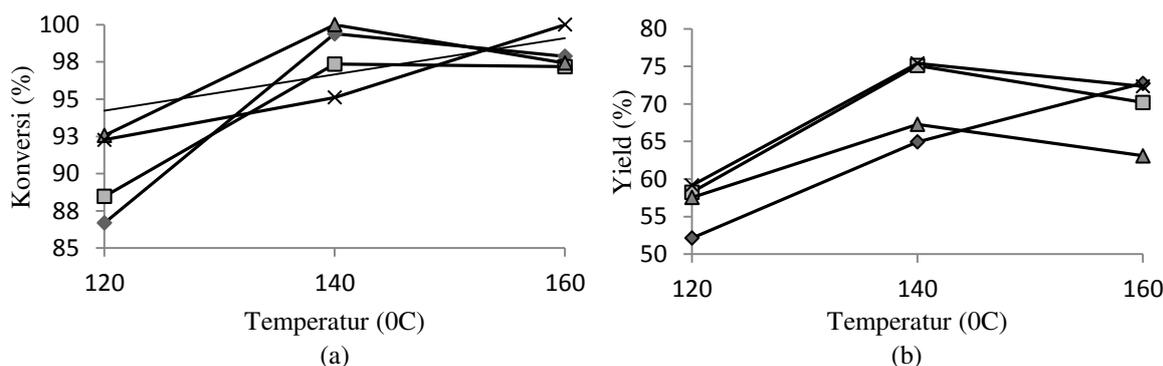
pada suhu 105^oC, sedangkan pemanasan larutan asam format dan air bersifat azeotrop yang akan menguap pada suhu 100,5^oC. Sisa distilasi (*bottom product*) diperkirakan terdiri atas air, asam format, sedikit sisa sorbitol, dan katalis.

Percobaan utama terdiri atas 12 tempuhan, yaitu tempuhan 4, 8 hingga tempuhan ke 18. Tempuhan ke 4 sebelumnya telah dilakukan pada percobaan pendahuluan karena memiliki variabel kondisi yang sama. Analisa kuantitatif dari produk dilakukan dengan menggunakan HPLC, dan didapat hasil yang disajikan pada Tabel 1. Dari analisa produk dengan menggunakan HPLC, didapat konversi maksimum sebesar 100% pada *run* 14 (25 bar, 0,3% katalis, 140^oC) dan *run* 18 (25 bar, 0,6% katalis, 160^oC). Konversi pada *run* lain mendekati konversi maksimum. sementara perolehan maksimum yang didapatkan pada *run* 17 (25 bar, 0,6% katalis, 140^oC), yaitu sebesar 75,4%.

Tabel 1. Analisa Kuantitatif Produk dengan HPLC

<i>Run</i>	4	8	9	10	11	12
Tekanan (bar)	15	15	15	15	15	15
Konsentrasi Katalis (% massa)	0.3	0.3	0.3	0.6	0.6	0.6
Suhu (oC)	120	140	160	120	140	160
Konversi Sorbitol (%)	86,68	99,38	97,87	88,47	97,35	97,18
Yield (%)	52.13	64.93	72.74	58,26	75,11	70,18
<i>Run</i>	13	14	15	16	17	18
Tekanan (bar)	25	25	25	25	25	25
Konsentrasi Katalis (% massa)	0.3	0.3	0.3	0.6	0.6	0.6
Suhu (oC)	120	140	160	120	140	160
Konversi Sorbitol (%)	92.56	100	97.42	92.27	95.12	100
Yield (%)	57.56	67.28	63.09	59.16	75.40	72.34

Pengaruh suhu terhadap konversi sorbitol dan perolehan asam format disajikan pada Gambar 2.



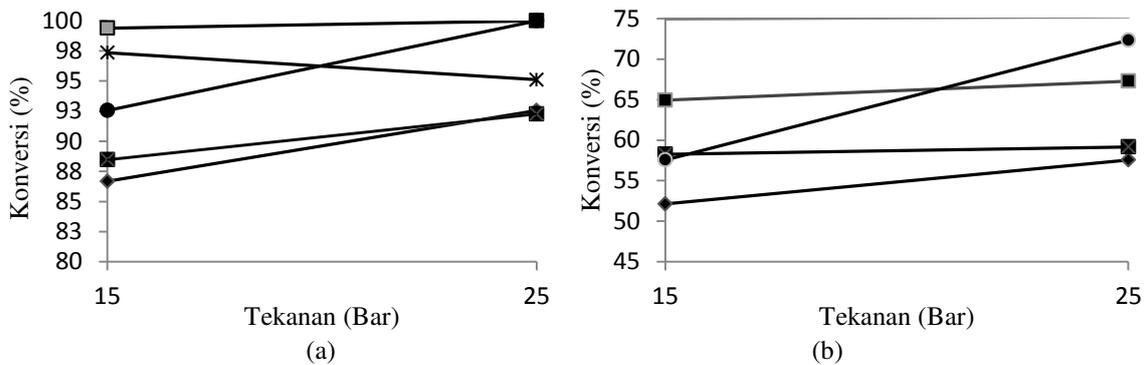
Gambar 2. Pengaruh suhu terhadap konversi sorbitol (a) dan *yield* asam format (b). *Note:* ◆ = P = 15, [katalis] = 0,3%, ■ = P = 15 bar dan [katalis] = 0,6%, ▲ = P = 25bar, [katalis] = 0,3%, × = P = 25 bar dan [Katalis] = 0,6%.

Dari Gambar 2 terlihat terdapat kecenderungan kenaikan suhu operasi diikuti juga dengan kenaikan dari konversi sorbitol. Hal ini diperkirakan terjadi akibat suhu yang lebih tinggi akan menghasilkan energi kinetik dari molekul – molekul reaktan yang lebih besar juga. Dengan energi aktivasi yang sama, energi kinetik yang dihasilkan akan melebihi energi aktivasi yang dibutuhkan berjalannya reaksi oksidasi tersebut, sehingga laju reaksi oksidasi sorbitol menjadi asam format akan meningkat (Li, dkk., 2012). Namun, kenaikan konversi sorbitol pada suhu diatas 140^oC tidak signifikan, dimana pada suhu 140^oC, konversi sorbitol telah mencapai titik maksimum (98-100%).

Selain itu, dapat dilihat pula bahwa pada P=15 bar dan [katalis]=0,3%, didapat kecenderungan bahwa semakin tinggi suhu, perolehan asam format juga akan semakin besar. Sedangkan, pada P=25 bar & [katalis]=0,3% dan P=25 bar & [katalis]=0,6%, didapat kecenderungan bahwa perolehan asam format akan semakin besar seiring dengan meningkatnya suhu hingga mencapai titik optimum (140^oC), lalu akan menurun apabila suhu dinaikkan terus. Hal ini terjadi karena reaksi oksidasi sorbitol adalah reaksi paralel, dimana kemungkinan terdapat beberapa reaksi samping lain yang memiliki energi aktivasi lebih rendah maupun lebih

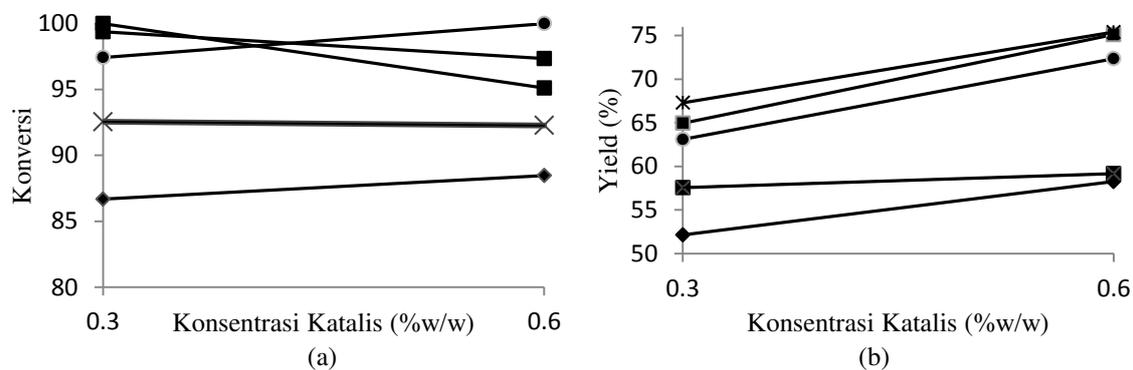
tinggi daripada reaksi utama. Pada suhu yang terlalu rendah, laju reaksi samping yang memiliki energi aktivasi lebih rendah daripada reaksi utama akan lebih besar. Namun, pada suhu yang terlalu tinggi, laju reaksi samping yang memiliki energi aktivasi lebih tinggi daripada reaksi utama akan lebih besar. Oleh karena itu, terdapat suatu titik dimana selektivitas asam format terhadap produk samping lain menjadi maksimum. Pada penelitian ini, titik optimum berada pada suhu 140°C .

Pengaruh tekanan terhadap konversi sorbitol dan perolehan asam format disajikan pada Gambar 3, dan didapat kecenderungan bahwa semakin tinggi tekanan operasi, konversi dari sorbitol dan perolehan asam format juga akan semakin besar. Hal ini terjadi akibat pada tekanan yang meningkat, kelarutan oksigen pada air juga akan meningkat, sehingga reaksi terjadi dengan lebih homogeny (Butler dan Coyne, 2010). Kenaikan konversi dan perolehan terbesar terjadi pada variasi suhu 120°C dan konsentrasi katalis 0,3%. Hal ini sesuai dengan hasil yang didapatkan oleh Zhang, 2014, dimana pada suhu yang lebih rendah, tekanan lebih berpengaruh daripada suhu yang tinggi (Zhang, dkk., 2014).



Gambar 3. Pengaruh tekanan terhadap (a) konversi sorbitoldan (b) *yield* asam format. (Note: ◆= $T= 120^{\circ}\text{C}$, [katalis] = 0,3%, ■= $T= 140^{\circ}\text{C}$, [katalis] = 0,3%, * = $T= 140^{\circ}\text{C}$, [katalis] = 0,6%, ●= $T= 160^{\circ}\text{C}$, [katalis] = 0,6%.

Pada suhu 160°C , konversi mengalami penurunan dengan bertambahnya tekanan operasi. Hal ini mungkin disebabkan karena peningkatan tekanan pada suhu 160°C memicu adanya reaksi samping lain yang menurunkan perolehan asam format. Dapat disimpulkan bahwa variasi tekanan 25 bar memberikan konversi yang sedikit lebih baik jika dibandingkan dengan tekanan 15 bar, namun pada temperatur optimum, tekanan 15 bar dirasa sudah cukup memadai dalam reaksi oksidasi ini.



Gambar 4. Pengaruh tekanan terhadap (a) konversi sorbitoldan (b) *yield* asam format. Note: ◆= variasi $T= 120^{\circ}\text{C}$, $P= 15$ bar, ×= $T= 120^{\circ}\text{C}$, $P=25$ bar ■= $T= 140^{\circ}\text{C}$, [katalis] = 0,3%, * = $T= 140^{\circ}\text{C}$, $P=25$ bar, ●= $T= 160^{\circ}\text{C}$, $P=25$ bar.

Pengaruh konsentrasi katalis pada konversi sorbitol dan perolehan asam format disajikan pada Gambar 4 berikut Gambar 4(a) menunjukkan pada konsentrasi katalis yang meningkat, konversi sorbitol cenderung konstan. Sementara, gambar 4(b) menunjukkan bahwa pada konsentrasi katalis yang meningkat, perolehan asam format yang didapat juga meningkat. Peningkatan perolehan asam format pada variasi cukup signifikan, yaitu diantara 5 – 15 %. Hal ini diperkirakan terjadi karena katalis bersifat selektif pada asam format, sehingga perolehan asam format meningkat (Taccardi, dkk., 2010). Pada temperatur optimum (140°C) penggunaan



konsentrasi katalis sebesar 0,6% berat lebih baik karena lebih memberikan perolehan yang lebih besar dibanding dengan 0,3%.

Kesimpulan

1. Konversi sorbitol meningkat terhadap peningkatan temperatur hingga mencapai titik optimum (140°C).
2. Perolehan asam format meningkat dengan peningkatan temperatur hingga mencapai titik optimum (140°C), kemudian menurun dengan peningkatan temperatur.
3. Variasi tekanan yang dipilih kurang berpengaruh terhadap konversi sorbitol dan perolehan asam format.
4. Variasi konsentrasi katalis yang dipilih kurang berpengaruh terhadap konversi sorbitol dan perolehan asam format pada tempuhan dengan suhu operasi 120°C .
5. Perolehan asam format meningkat terhadap peningkatan konsentrasi katalis pada tempuhan dengan suhu operasi 140 dan 160°C .
6. Secara keseluruhan, variasi yang dianggap paling optimum adalah pada tekanan 15 bar, temperatur 140°C , dan konsentrasi katalis 0,06% yang menghasilkan konversi 97,35% dan perolehan asam format sebesar 75,1%.

Daftar Notasi

P = tekanan [bar]

T = suhu [$^{\circ}\text{C}$]

[katalis] = konsentrasi katalis [%berat]

Daftar Pustaka

- Grasemann M, Laurency G. Formic acid as a hydrogen source - recent developments and future trends, *Energy & Environmental Science* 2012; 5(8): 8171-8181.
- Haussinger P, dkk. Hydrogen, In: *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*, Electronic Release, Weinheim; 2010. Wiley-VCH.
- Levenspiel O. *Chemical Reaction Engineer*. New York: John Wiley & Sons.inc; 1999.
- Solomons GTW, Fryhle CB. *Organic Chemistry*, Massachusetts: John Wiley & Sons, Inc. 2011.
- Tsigdinos GA, Hallada, CJ. Molybdovanadophosphoric acids and their salts. I. Investigation of methods of preparation and characterization, *Inorganic Chemistry* 1968; 7(3): 437-441.
- Wang W, dkk. Catalytic conversion of biomass-derived carbohydrates to formic acid using molecular oxygen, *Green Chemistry* 2014; 16(5): 2614-2618.
- Butler, R. N. dan Coyne, A. G., Water: Nature's Reaction Enforcer—Comparative Effects for Organic Synthesis "In-Water" and "On-Water", *Chemical Reviews* 2010; 110(10): 6302-6337.
- Grasemann, M. dan Laurency, G. Formic acid as a hydrogen source - recent developments and future trends, *Energy & Environmental Science* 2012; 5(8): 8171-8181.
- Haussinger, P., dkk, "Hydrogen", *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*, Electronic Release, Weinheim: Wiley-VCH, 2010.
- Li, J., dkk, Catalytic Air Oxidation of Biomass-Derived Carbohydrates to Formic Acid, *ChemSusChem* 2012; 5(7): 1313-1318.
- Schmidt, I., dkk. , Evaluation of Formic-Acid-Based Hydrogen Storage Technology, *Energy & Fuels* 2014; 28: 6540-6544.
- Taccardi, N., dkk. Catalytic production of hydrogen from glucose and other carbohydrates under exceptionally mild reaction conditions, *Green Chemistry* 2010; 12(7): 1150-1156.
- Tsigdinos, G. A. dan Hallada, C. J. Molybdovanadophosphoric acids and their salts. I. Investigation of methods of preparation and characterization, *Inorganic Chemistry* 1968; 7(3): 437-441.
- Zhang, J., dkk. Catalytic oxidative conversion of cellulosic biomass to formic acid and acetic acid with exceptionally high yields, *Catalysis Today* 2014; 233(0): 77-82.





Lembar Tanya Jawab
Moderator : Soepriyanto (ITS Surabaya)
Notulen : Putri Restu Dewati (UPN "Veteran" Yogyakarta)

1. Penanya : Fahmi Reza Febianto
Pertanyaan : Reaksi terjadi dimana ?
Jawaban : Di reaktor yang terbuat dari stainless steel 316.

2. Penanya : Didi Dwi Anggoro (UNDIP Semarang)
Pertanyaan : Apakah sudah dianalisa termodinamikanya?
Jawaban : Belum dilakukan analisa termodinamika.

