



Sintesis Furfural dari Bagas Tebu Via Reaksi Hidrolisa dengan Menggunakan Katalis Asam Asetat pada Kondisi Atmosferik

Shyntesis of Furfural from Sugarcane Bagasse Via Hydrolysis Reaction Using Acetic Acid Catalyt at Atmospheric Condition

Nine Tria Rossa¹, Dewi A. Iryani^{1*}, Suropto D. Yuwono²

¹Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Lampung

² Jurusan Kimia, Fakultas MIPA, Universitas Lampung

Jl. Prof. Sumantri Brojonegoro No. 1, Bandar Lampung, 35145

*E-mail: dewi.agustina@eng.unila.ac.id

Abstrak

Telah dilakukan penelitian tentang hidrolisa bagas tebu menggunakan asam asetat sebagai katalis. Sebanyak 30 gram dihidrolisa dalam 300ml air yang mengandung katalis asam menggunakan asetat sebesar 7 sampai 9% v/v dengan variabel waktu dan temperatur hidrolisa selama 1 sampai 4 jam dan 80°C sampai 103°C pada kondisi atmosferik menggunakan reaktor tipe batch. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh temperatur dan waktu hidrolisa, serta konsentrasi katalis asam asetat terhadap perolehan furfural. Kemudian untuk menemukan kondisi paling efisien untuk memproduksi furfural menggunakan *Response Surface Methodology* (RSM) dengan *Software Design Expert 7.0.0*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan penambahan waktu dan temperatur hidrolisa akan meningkatkan perolehan furfural. Perolehan asam asetat juga meningkat rata-rata hingga 2 kali dari konsentrasi asam asetat awal. Hal ini terjadi karena pemutusan gugus *acetyl* dari fraksi hemiselulosa pada bagas tebu. Perolehan kondisi optimum yakni pada waktu dan temperatur hidrolisa 2 jam dan 103°C, konsentrasi katalis 9%, dengan konsentrasi furfural 4,10 mg/ml dan konsentrasi asam asetat 2,62 mmol/ml.

Kata Kunci: asam asetat, bagas tebu, furfural, hidrolisa.

Abstract

The hydrolysis experiments of sugarcane bagasse into furfural by using acetic acid as catalyst was conducted. About 30grams of sugarcane bagasse was hydrolyzed with 300ml of water that contained varied of acetic acid 7-9% v/v at atmospheric condition using batch type reactor. The effects of the processing conditions on the mass *yield* of furfural was examined by varying the reaction temperature (80, 90, 100, and 103°C), and the reaction time (1, 2, 3, and 4 hour). Response Surface Methodology (RSM) using Software Design Expert 7.0.0 was conducted to find the efficient condition for furfural production. The results showed that the furfural increased with elevated temperature and time reactions. The concentration of acetic acid also increased until two times average higher than its initial due to the degradation *acetyl* bound from hemicellulosic fraction. The optimum conditions selected were: 2 hours (120 minutes), 103°C, 9% v/v acetic acid as the catalyst. Using these conditions, 4.10 mg/ml furfural and 2.62 acetic acid mmol/ml were obtained.

Keywords: acetic acid, furfural, hydrolysis, sugarcane bagasse

1. Pendahuluan

Proses produksi gula menghasilkan bagas tebu sebesar 30-32% dari setiap tebu yang diproses di industri gula. Pemanfaatan bagas tebu selama ini masih terbatas untuk makanan ternak, bahan baku pembuatan pupuk, *pulp*, *particle board*, dan untuk bahan bakar *boiler* (Iryani, 2012). Bagas tebu merupakan limbah lignosesulosa yang mengandung komponen kimia: selulosa 34,8%, lignin 20,2%, dan hemiselulosa (pentosan) 28,4% (Iryani, 2014). Salah

satu upaya pemanfaatan yang dapat meningkatkan nilai ekonomis dari bagas tebu adalah mengkonversinya menjadi produk kimia yang bernilai ekonomi tinggi seperti furfural. Furfural memiliki aplikasi cukup luas dalam beberapa industri dan dapat disintesis menjadi turunannya seperti furfural alkohol, furan, dan lain-lain. Furfural dihasilkan melalui reaksi hidrolisa pentosan (Othmer, 2000).

Saat ini, produksi furfural dilaksanakan melalui reaksi hidrolisa dengan menguna-

kan asam kuat. Beberapa peneliti sebelumnya (Aguilar, 2002; Andaka, 2011; Artati, 2010; Megawati, 2009) umumnya menggunakan asam kuat H_2SO_4 sebagai katalis. Hasil studi tersebut menunjukkan bahwa peningkatan temperatur dan waktu hidrolisa berpengaruh terhadap peningkatan *yield* furfural dan juga asam asetat. Diduga asam asetat juga berperan dalam reaksi pembentukan furfural. Dugaan tersebut diperjelas dengan penelitian Iryani dkk. (2014) tentang proses hidrolisa bagas tebu untuk menghasilkan furfural tanpa menggunakan katalis asam atau hanya dengan menggunakan air bertekanan (*Hot Compressed Water*). Didapatkan kesimpulan bahwa asam asetat dapat meningkatkan perolehan furfural dan berfungsi sebagai katalis internal.

Pemanfaatan asam asetat sebagai katalis juga telah dilakukan oleh Uppal dan Kaur (2011) untuk menghidrolisa bagas tebu. Digunakan berbagai jenis katalis yaitu: asam asetat, asam formiat, asam fosfat, dan asam nitrat pada berbagai konsentrasi dan waktu hidrolisa. Penelitian tersebut ditujukan untuk mendapatkan katalis asam yang paling baik, ditinjau dari *yield* furfural yang didapatkan dan kemurnian produk hasil hidrolisa. Dari penelitian tersebut diperoleh bahwa hasil produksi furfural meningkat dengan peningkatan konsentrasi asam. Berdasarkan studi literatur di atas, terlihat bahwa asam asetat dapat dipertimbangkan sebagai katalis dalam proses hidrolisis. Selain itu, penggunaan asam organik relatif ini lebih ramah lingkungan, bersumber dari sumber daya alam yang dapat diperbaharui (*renewable natural resource*) dan relatif tidak korosif terhadap alat bila dibandingkan dengan menggunakan H_2SO_4 .

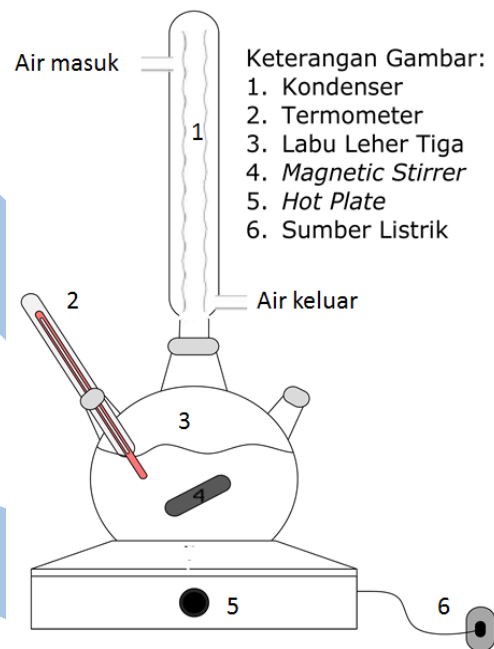
Pada studi ini, katalis asam asetat digunakan dalam proses reaksi untuk menghasilkan furfural pada tekanan atmosferik. Penelitian dilakukan di Laboratorium Operasi Teknik Kimia Universitas Lampung. Secara umum, penelitian ini bertujuan untuk memproduksi furfural. Lebih detail penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh temperatur dan waktu hidrolisa, serta peran internal katalis asam asetat terhadap perolehan furfural, serta untuk mendapatkan kondisi paling efisien untuk menghasilkan furfural.

2. Metodologi

2.1. Alat dan Bahan

Bahan utama yang digunakan berupa bagas tebu yang berasal dari PT. Gunung Madu

Plantation (GMP), air (*aquades*), dan katalis asam asetat (99%, Merck). Reaksi hidrolisa dilakukan secara *batch* dengan menggunakan labu leher tiga (rangkain alat dapat dilihat pada Gambar 1). Variabel yang digunakan pada penelitian ini adalah temperatur dan waktu hidrolisa 80 - 103°C dan 1 - 4 jam; serta konsentrasi katalis asam asetat 7 - 9%.



Gambar 1. Rangkaian alat proses hidrolisa bagas tebu

2.2. Penentuan Kadar Pentosan

Bagas tebu (lolos ayakan 18 mesh, kadar air $\pm 16,4\%$) sebanyak 5 g dimasukkan ke dalam labu leher tiga 500 ml, kemudian ditambahkan HCl 3,85 N sebanyak 100 ml dan 20 g NaCl, dihidrolisa selama ± 3 jam dan setiap 10 menit sekali diikuti dengan penambahan HCl 3,85 N ke dalam labu leher tiga, hidrolisa dihentikan hingga diperoleh distilat sebanyak 225 ml ± 10 ml. Distilat ditampung dalam labu erlenmeyer 250 ml kemudian ditambahkan HCl 3,85 N sampai tanda batas dan dikocok. Kemudian ditambahkan indikator seperti bromat bromida, KI 10%, dan amilum, selanjutnya larutan dititrasi dengan larutan natrium tiosulfat 0,1 N. Diperoleh bahwa dalam 5 gram bagas tebu mengandung 24,5 mg/mg pentosan.

2.3. Hidrolisa Bagas Tebu Menggunakan Katalis Asam Asetat

Sebanyak 4 gram bagas tebu dihidrolisa dengan 400 ml *aquades* dengan asam asetat sebagai katalis. Hidrolisa dilakukan secara

batch dalam rangkaian alat distilasi refluks total menggunakan labu leher tiga (Gambar 1). Bagas tebu yang telah dihidrolisa kemudian didiamkan sampai temperatur ± 25°C. Selanjutnya hidrolisat (produk cair furfural) dipisahkan dari residunya (produk padat) dengan menggunakan kertas saring. Hidrolisat (produk cair furfural) dianalisis dengan titrasi untuk dihitung kadar furfuralnya, hidrolisat (produk cair furfural) dicek tingkat keasamannya (pH) dan dianalisis dengan titrasi untuk dihitung kadar furfuralnya, sedangkan produk padat (residu) dianalisis menggunakan spektrofotometer *Fourier Transform Infra Red* (FTIR) SHIMADZU 8201-PC dengan teknik *KBr disk*. Data dianalisa menggunakan persamaan 1, 2, dan 3.

$$jf = \frac{(b - a) \cdot 0,1 \cdot \frac{BM}{4} \cdot 2,5 fp}{10} \quad (1)$$

$$kf = \frac{jf}{vh} \quad (2)$$

$$yf = \frac{mf}{mp} \times 100\% \quad (3)$$

Keterangan:

- Jf* : jumlah furfural dalam hidrolisat (mg)
- a* : volume titrasi sampel (ml)
- b* : volume titrasi blanko
- fp* : faktor pengenceran
- kf* : konsentrasi furfural (mg/ml)
- vh* : volume hidrolisat (ml)
- yf* : yield furfural (% basis kering)
- mf* : massa furfural (mg)
- mp* : massa bahan baku (pentosan) (mg)

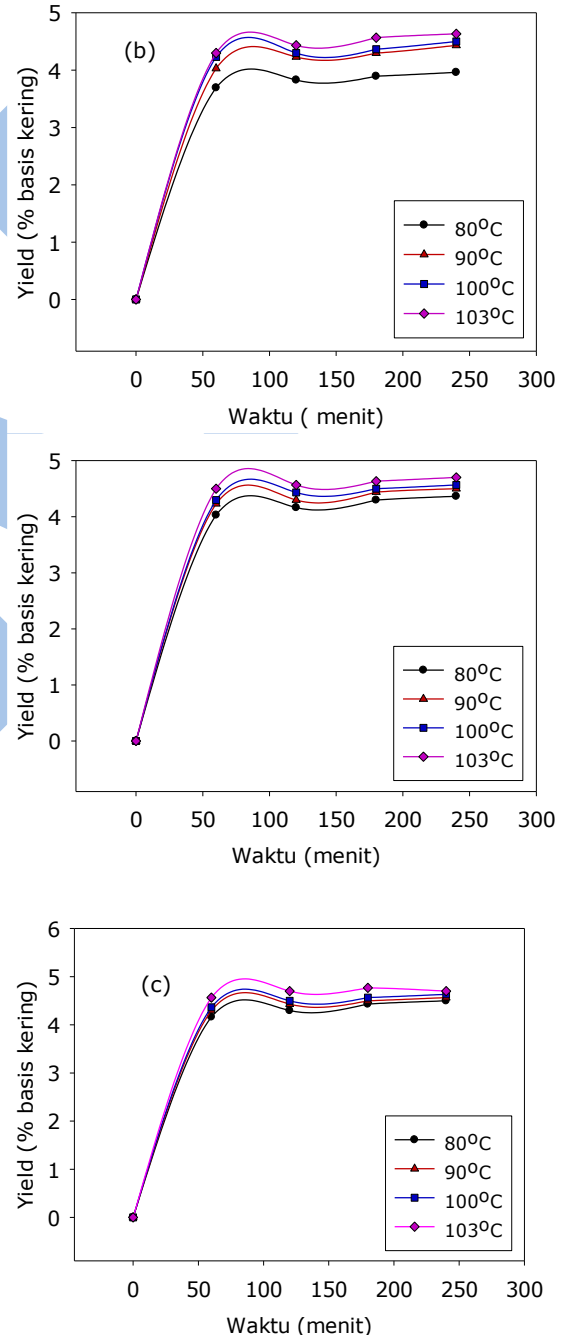
Dari data pH yang diperoleh kemudian dibuat grafik standarisasi hubungan pH dengan konsentrasi asam asetat dalam molar atau mmol/ml. Setelah diperoleh data konsentrasi furfural dan asam asetat, kemudian dilakukan optimasi dengan menggunakan *response surface methodology* (RSM) dengan *software Design Expert 7.0.0*.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Pengaruh Temperatur dan Waktu Hidrolisa Terhadap Perolehan Furfural

Pengaruh temperatur dan waktu hidrolisa terhadap perolehan furfural dipaparkan pada Gambar 2. Dapat dilihat bahwa perolehan furfural meningkat tajam setelah reaksi berjalan selama 50 menit untuk semua variasi konsentrasi katalis. Peningkatan waktu hidrolisa lebih lanjut tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap

perolehan furfural. Pada rentang waktu hidrolisa yang rendah, perolehan furfural terlihat signifikan karena konsentrasi katalis asam asetat yang digunakan tinggi. Peningkatan temperatur hidrolisa menyebabkan peningkatan persentase perolehan *yield* furfural. *Yield* tertinggi diperoleh pada proses hidrolisa dengan temperatur tertinggi yaitu 103°C untuk semua konsentrasi katalis. Namun pengaruhnya terhadap perolehan *yield* furfural tidak signifikan (Gambar 2; a, b, dan c).



Gambar 2. Hubungan temperatur dan waktu hidrolisa terhadap *yield* furfural pada konsentrasi katalis: (a) 7%; (b) 8%; (c) 9%

3.2. Pengaruh Konsentrasi Katalis Asam Asetat Terhadap Perolehan Furfural

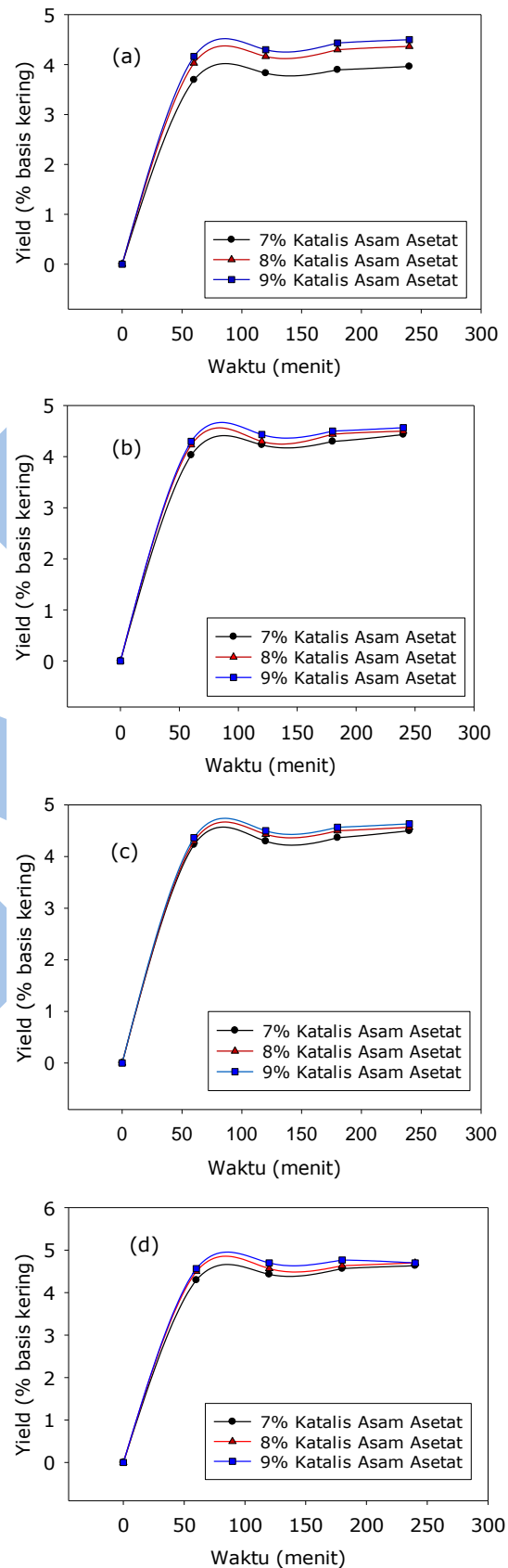
Pengaruh katalis asam asetat terhadap perolehan furfural diperlihatkan pada Gambar 3. Dapat dilihat bahwa peningkatan konsentrasi katalis asam asetat pada hidrolisa bagas tebu akan meningkatkan konsentrasi dan *yield* furfural yang dihasilkan. Dengan penambahan waktu hidrolisa dan konsentrasi katalis, ikatan-ikatan glikosidik akan terputus dengan komponen-komponen penyusun hemiselulosa yakni pentosan, sehingga pentosan tersebut kemudian akan terkonversi menjadi furfural.

Tetapi, pada konsentrasi katalis 9% pada temperatur hidrolisa 103°C, perolehan furfural paling banyak diperoleh pada waktu hidrolisa 3 jam. Selanjutnya peningkatan waktu hidrolisa dapat menurunkan perolehan furfural. Iryani dkk. (2014) menjelaskan bahwa asam asetat dapat meningkatkan perolehan furfural. Namun, ada suatu kondisi dimana perolehan furfural menurun disebabkan karena furfural dan heksosa, dapat terdekomposisi menjadi produk kimia lainnya akibat kontak dengan asam yang terlalu lama.

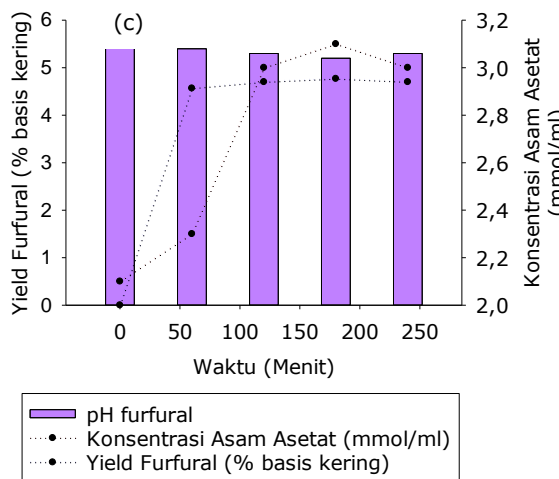
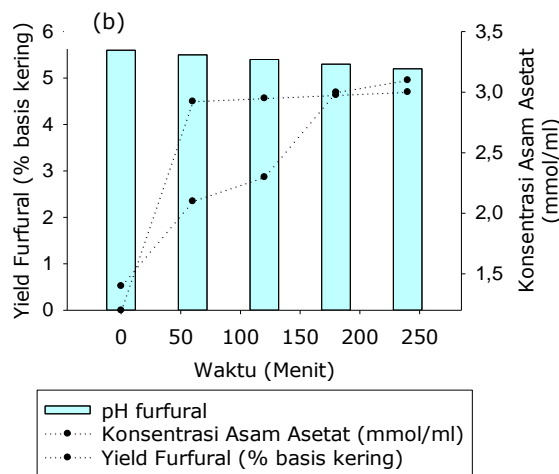
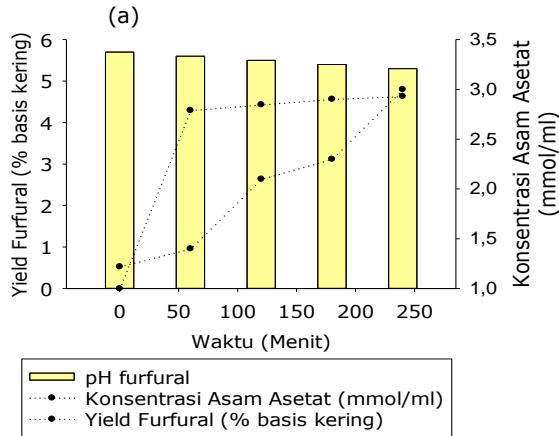
3.3. Pembentukan Asam Asetat Selama Proses Hidrolisa

Katalis asam asetat digunakan untuk membantu reaksi hidrolisa bagas tebu menjadi furfural. Selain itu, asam asetat juga dapat terbentuk dari proses hidrolisa ini sebagaimana yang lazim disebut auto catalysis. Selama proses hidrolisa berlangsung, konsentrasi asam asetat ini dianalisa dalam periode waktu tertentu. Gambar 4 memaparkan korelasi waktu hidrolisa, pH larutan, dan konsentrasi asam asetat terhadap pembentukan produk furfural.

Penambahan waktu dan temperatur hidrolisis dapat menurunkan pH hidrolisat. Penurunan pH ini menyebabkan terjadinya peningkatan *yield* furfural. Hal ini terjadi karena selama proses hidrolisa berlangsung, dihasilkan juga asam asetat yang dapat berperan sebagai internal katalis. Asam asetat yang terbentuk ini, selanjutnya dapat berfungsi untuk meningkatkan laju pembentukan furfural. Konsentrasi asam asetat cenderung meningkat seiring meningkatnya waktu hidrolisa mendekati linear. Peningkatan konsentrasi asam asetat menjadi dua kali lebih tinggi dari konsentrasi asam asetat awal yang digunakan (Gambar 4 a, dan b).



Gambar 3. Hubungan konsentrasi katalis asam asetat terhadap perolehan furfural pada temperatur hidrolisa: (a) 80°C; (b) 90°C; (c) 100°C; (d) 103°C



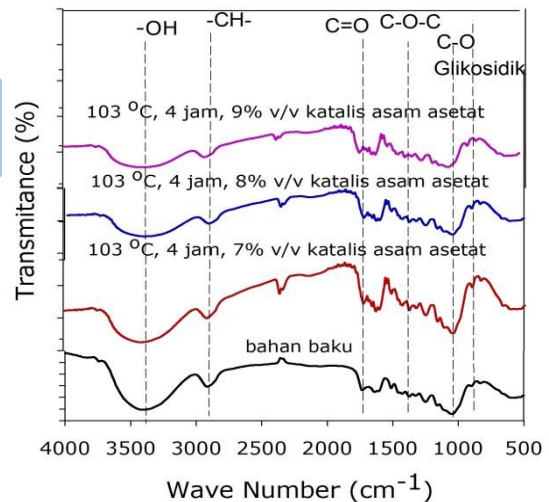
Gambar4. Hubungan pH produk furfural terhadap konsentrasi katalis asam asetat dan perolehan furfural pada konsentrasi katalis : (a) 7%; (b) 8%; (c) 9%

Pada kondisi pemberian katalis 9%, pembentukan asam asetat mencapai maksimum dalam waktu yang lebih cepat, yaitu sekitar 110 menit. Penambahan waktu

hidrolisa lebih lanjut tidak memberikan dampak terhadap peningkatan konsentrasi asam asetat. Kemungkinan yang terjadi adalah karena ikatan asetil (*acetyl bound*) yang terdapat pada hemiselulosa telah terdekomposisi secara sempurna atau telah terjadi dekomposisi furfural menjadi produk kimia yang lain. Dengan kata lain, konsentrasi asam asetat meningkat dengan peningkatan waktu dan temperatur hidrolisa, namun tetap ada suatu kondisi dimana peningkatan konsentrasi asam asetat terhenti.

3.4. Analisis Gugus Fungsi pada Residu (Produk Padat) Furfural

Identifikasi struktur kimia dan gugus fungsi menggunakan analisis spektrofotometer FTIR dengan tujuan untuk mengetahui perbedaan gugus fungsi yang terdapat pada bahan baku dan produk padat (*residu*) hidrolisa. Hasil spektra data dari analisis FTIR dapat menginterpretasikan mekanisme proses dekomposisi gugus fungsi selama proses hidrolisa berlangsung. Spektra data yang didapatkan selanjutnya dikonfirmasi posisi puncak dan bilangan gelombangnya dengan beberapa data literatur (Kobayashi dkk, 2009; Wang dkk, 2010; Iryani dkk, 2014).



Gambar5. Data spektra FTIR bahan baku dan residu (produk padat)

Gambar 5 merupakan hasil spektra data FTIR bahan baku dan residu (produk padat) pada kondisi perolehan furfural terbanyak. Terlihat bahwa puncak (*peak*) gugus fungsi -OH yang terekam pada *wave number* mendekati 3300 cm^{-1} , menurun dengan penambahan konsentrasi katalis asam asetat. Hal ini mengindikasikan bahwa molekul air dalam residu secara bertahap menghilang dan terjadi peristiwa dehidrasi.

Peak pada wave number antara 2916 sampai dengan 2974 cm^{-1} merupakan gugus fungsi -CH, yang memperlihatkan penambahan konsentrasi katalis asam asetat, dapat memutuskan rantai gugus yang terdapat pada bagas tebu (dalam hal ini adalah hemiselulosa). Peak diantara 1720 sampai dengan 1747 cm^{-1} mewakili gugus fungsi karbonil (C=O), kelompok senyawa ester; dan C=O dari ikatan acetil yang terdapat di xilan (hemiselulosa) semakin melemah akibat terdekomposisinya ikatan yang terdapat di bagian hemiselulosa. Hal inilah yang menyebabkan semakin banyak furfural yang terbentuk. Peak pada wave number sekitar 1050 cm^{-1} menunjukkan adanya peristiwa dekomposisi gugus hemiselulosa dan selulosa, dimana terlihat peak tervibrasi setelah adanya penambahan konsentrasi katalis asam asetat.

3.5. Optimasi Perolehan Furfural dan Asam Asetat

Optimasi perolehan furfural terhadap variabel temperatur (X_1) dan waktu hidrolisa (X_2), serta konsentrasi katalis asam asetat (X_3) dilaksanakan dengan menggunakan RSM, di mana bertujuan untuk mengetahui kondisi terbaik berdasarkan produksi furfural dan asam asetat yang paling banyak. RSM adalah tool yang dapat menjelaskan hubungan pengaruh antar variabel (minimal 2 variabel) dengan respon yang diperoleh. Data analisis akan dihubungkan dengan data eksperimen pada smooth curve, dimana

diplot berdasarkan perhitungan respon yang diprediksi secara spesifik (Ngawong, 2011). Data yang diperoleh diolah dengan menggunakan software Design Expert 7.0.0. Tujuannya adalah untuk mendapatkan persamaan matematis yang menjelaskan tentang hubungan variabel-variabel tersebut terhadap konsentrasi furfural dan asam asetat yang diperoleh.

Pengujian untuk menentukan suatu model, dipilih sesuai dengan kondisi yang sebenarnya. Pengujian tersebut diantaranya adalah uji Sum of Square dan uji statistika dasar (R-Squared). Model dinyatakan cocok apabila probabilitas nilai-p > F adalah lebih kecil daripada 0,05 nilai R-squared mendekati 1. Tabel 1 sampai Tabel 4 merupakan hasil pengujian model untuk respon konsentrasi furfural dan asam asetat, dimana terlihat bahwa model paling baik yang disarankan untuk respon konsentrasi furfural adalah model 2-Factorial Interaction (2FI) dan model Linear untuk respon konsentrasi asam asetat. Model dalam bentuk persamaan matematis dapat ditulis seperti pada persamaan 4), dan 5). Data hasil uji data respon dari optimasi numeris yang ditampilkan pada software, diperoleh bahwa respon konsentrasi furfural dan asam asetat tertinggi dari model yang diperoleh berada pada waktu dan temperatur hidrolisa 2 jam dan 103°C, konsentrasi katalis 9%, dengan konsentrasi furfural 4,10 mg/ml dan asam asetat 2,62 mmol/ml.

$$Y_1 = -3,47253 + 0,06477X_1 + 0,25677X_2 + 0,68248X_3 - 0,001089X_1X_2 - 0,005789X_1X_3 - 0,00901X_2X_3 \quad (4)$$

$$Y_2 = -2,61645 + 0,01978X_1 + 0,37783X_2 + 0,27125X_3 \quad (5)$$

Keterangan:

- Y₁= Konsentrasi furfural (mg/ml)
- Y₂= Konsentrasi asam asetat (mmol/ml)
- X₁= Temperatur hidrolisa (°C)
- X₂= Waktu hidrolisa (jam)
- X₃= Konsentrasi katalis asam asetat (%)

Tabel 1. Uji Sum of Squared Untuk Respon Konsentrasi Furfural

Source	Sum of Squared	Df	Mean Square	F Value	p-Value Prob>F	
Mean vs Total	736,10	1	736,10			
Linear vs Mean	1,85	3	0,62	107,22	<0,0001	
2FI vs Linear	0,097	3	0,032	8,47	0,0002	Suggested
Quadratic vs 2FI	0,023	3	0,007766	2,23	0,1010	
Cubic vs Quadratic	0,11	9	0,012	15,90	<0,0001	Aliased
Residual	0,022	29	0,00077			
Total	738,20	48	15,38			

Tabel 2. Uji *R-Squared* Untuk Respon Konsentrasi Furfural

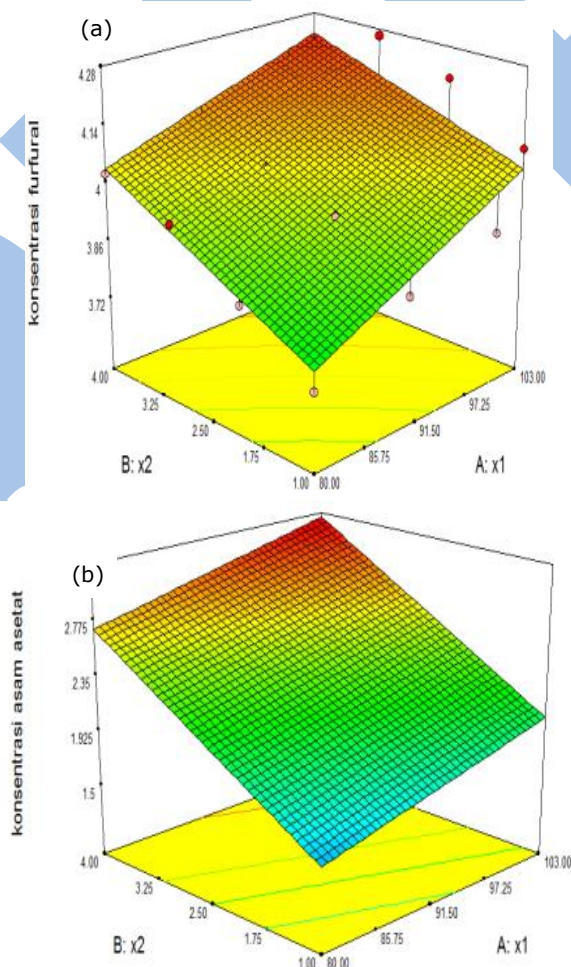
Source	Std Dev.	R-Squared	Adjusted R-Square	Predicted R-Square	PRESS	
Linear	0,076	0,88	0,87	0,85	0,31	
2FI	0,062	0,92	0,91	0,89	0,23	Suggested

Tabel 3. Uji *Sum of Squared* Untuk Respon Konsentrasi Asam Asetat

Source	Sum of Squared	Df	Mean Square	F Value	p-Value Prob>F	
Mean vs Total	263,30	1	263,30			
Linear vs Mean	12,45	3	4,15	95,21	<0,0001	Suggested
2FI vs Linear	0,29	3	0,098	2,47	0,0753	
Quadratic vs 2FI	0,062	3	0,021	0,50	0,6851	
Cubic vs Quadratic	0,49	9	0,054	1,46	0,2106	Aliased
Residual	1,08	29	0,037			
Total	277,67	48	5,78			

Tabel 4. Uji *R-Squared* Untuk Respon Konsentrasi Asam Asetat

Source	Std Dev.	R-Squared	Adjusted R-Square	Predicted R-Square	PRESS	
Linear	0,21	0,86665	0,8574	0,8402	2,30	Suggested



Gambar 6. Grafik Respon Konsentrasi i Terhadap Temperatur dan Waktu Hidrolisa serta Konsentrasi Katalis Asam Asetat Plot 3D Surface Menggunakan *Response Surface Methodology (RSM)* pada *Software Design Expert 7.0.0.* (a) Furfural; (b) Asam Asetat

Gambar 6 merupakan grafik respon asetat terhadap temperatur dan waktu hidrolisa serta konsentrasi katalis asam hidrasi dan furfural

asetat plot 3D *surface*. Dari hasil optimasi, diperoleh bahwa konsentrasi furfural cenderung meningkat pada saat temperatur dan waktu hidrolisa yang tinggi, karena adanya pembentukan asam asetat yang berfungsi sebagai internal katalis. Namun, penambahan temperatur hidrolisa hanya akan efektif pada rentang waktu hidrolisa tertentu saja, karena jika waktu reaksi hidrolisa berlangsung dalam waktu yang lama dapat menyebabkan penurunan perolehan furfural. Hal ini disebabkan karena ada suatu kondisi dimana hemiselulosa terdekomposisi menjadi furfural dan heksosa, sedangkan furfural juga dapat terdekomposisi menjadi produk lain.

3. Kesimpulan

Dari hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa peningkatan temperatur dan waktu hidrolisa, serta konsentrasi katalis asam asetat dapat meningkatkan perolehan furfural. Penambahan waktu dan temperatur hidrolisa akan menurunkan pH, dimana konsentrasi asam asetat bertambah rata-rata 2 kali dari konsentrasi asam asetat awal, sehingga asam asetat dapat berperan sebagai internal katalis pada proses hidrolisa. Berdasarkan optimasi yang dilakukan dengan *response surface methodology* (RSM) diperoleh kondisi optimum yaitu: waktu dan temperatur hidrolisa 2 jam dan 103°C, konsentrasi katalis 9%, dengan konsentrasi furfural 4,10 mg/ml dan asam asetat 2,62 mmol/ml.

Daftar Pustaka

- Aguilar, R., Ramirez, J.A., Garrote, G., Vazquez, M. (2002) Kinetic study of the acid hydrolysis of sugar cane bagasse, *Journal of Food Engineering*, 55, 309 - 318.
- Andaka, Ganjar (2011) Hidrolisa ampas tebu menjadi furfural dengan katalisator asam sulfat, *Jurnal Teknologi*, 4, 180 - 188.
- Artati (2010) Konstanta kecepatan reaksi sebagai fungsi suhu pada hidrolisa selulosa dari ampas tebu dengan katalisator asam sulfat, *EKUILIBRIUM*, 9, 1 - 4.
- Iryani, D. A., Kumagai, S., Nonaka, M., Sasaki, K., Hirajima, T. (2012) Overview of Indonesian sugarcane industry and utilization of its solid waste, *Autumn Annual Meeting of MMIJ (The Mining and Material Processing Institute of Japan)*, 2, 1 - 4.
- Iryani, D.A., Kumagai, S., Nonaka, M., Sasaki, K., Hirajima, T. (2014) The hot compressed water treatment of solid waste material from the sugar industry for valuable chemical production, *International Journal of Green Energy*, 11(6), 577 - 587.
- Kobayashi, N., Okada, M., Hirakawa, A., Kobayashi, J., Hatano, S., Itaya, Y., Mori, S. (2009) Characteristic of solid residues obtained from hot compressed water treatment of woody biomass, *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 48(1), 373 - 379.
- Megawati (2009) Kinetika reaksi hidrolisa ranting kering dengan asam encer pada kondisi non-isotermis, *REAKTOR*, 12, 211 - 217.
- Ngawong, W.R., Prasertsan, P., (2011) Optimization of furfural production from hemicellulose extracted from delignified palm pressed fiber using a two-stage process, *Carbohydrate Research Elsevier*, 346, 103 - 110.
- Othmer, K. (2000) *Encyclopedia of chemical technology*, John Willey & Sons, U.S.A.
- Uppal, S.K., Kaur, Ramandeep, (2011) Hemmicellulosic furfural production from sugarcane bagasse using different acids, *Sugar Tech*, 13(2), 166 - 169.
- Wang, B., Wang, X., Feng, H. (2010) Deconstructing recalcitrant michantus with alkaline peroxide and electrolyzed water, *Bioresources Technology*, 101, 752 - 760.