

STUDI PRODUKSI ASAM LEVULINAT DARI PATI UBI GAJAH (*Manihot esculenta*) MENGGUNAKAN KATALIS ASAM SULFAT

Wisnu Aditya, Amir Awaluddin, Saryono

**Mahasiswa Program Studi S1 Kimia
Bidang Kimia Anorganik Jurusan Kimia
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Kampus Binawidya Pekanbaru, 28293, Indonesia**

wisnuaditya39@gmail.com

ABSTRACT

The utilization of *Manihot esculenta* to produce platform chemical such as levulinic acid (LA) has been studied in detail to optimize the LA production. The LA production from *Manihot esculenta* was monitored using reaction times of the hidrolysis reaction (3-85 min.), the reaction temperatures (150°C, 170°C, and 190°C), and concentrations of sulfuric acid as the catalyst (1%, 3%, and 5%). The products obtained were then characterized using high performance liquid chromatography (HPLC) to determine the contents of glucose, hydroxymethylfurfural (HMF) and LA. The result showed that the LA production increased with the rise of temperature and catalyst concentration, whereas the glucose and HMF production decreased with the rise of temperature and catalyst concentration. The highest production of LA reached approximately 50% (based on initial concentration of biomass) at reaction temperature of 170°C and 5% of sulfuric acid concentration for 70 minutes of reaction time.

Keywords: Levulinic acid, catalyst, platform chemical, *Manihot esculenta*

ABSTRAK

Pemanfaatan biomasa *Manihot esculenta* untuk menghasilkan senyawa *platform chemical* berupa asam levulinat (AL) telah dipelajari secara mendalam untuk mengoptimalkan produk AL yang dihasilkan. Produksi AL dari biomasa *Manihot esculenta* dilakukan pada rentang waktu reaksi hidrolisis (3-85 menit) dengan variasi suhu reaksi (150°C, 170°C dan 190°C) dan variasi konsentrasi katalis asam sulfat (1%, 3%, dan 5%). Produk yang diperoleh dikarakterisasi menggunakan *High Performance Liquid Chromatography* (HPLC) untuk menentukan kandungan glukosa, HMF (*hydroxymethylfurfural*) dan AL. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kenaikan suhu dan konsentrasi katalis akan menyebabkan konsentrasi AL meningkat sedangkan glukosa dan HMF cenderung menurun. Produksi AL tertinggi yang mencapai sekitar 50% diperoleh pada suhu reaksi 170°C dan konsentrasi asam sulfat 5% selama selang waktu 70 menit.

Kata kunci : Asam levulinat, katalis, *platform chemical*, Ubi Gajah (*Manihot esculenta*)

PENDAHULUAN

Penurunan ketersedian bahan baku fosil sebagai sumber energi dan bahan baku dalam pembuatan berbagai bahan kimia telah mendorong para peneliti di dunia untuk mencari bahan alternatif lain yang tersedia dalam jumlah banyak dan dapat diperbarui (Weingarten *et al.*, 2013; Ren *et al.*, 2012; Rackemann & Doherty, 2010). Salah satu bahan alternatif yang dapat diperbarui dan telah dimanfaatkan serta masih diteliti hingga saat ini sebagai sumber untuk menghasilkan bahan kimia lainnya adalah biomasa (Weingarten *et al.*, 2013; Dussan *et al.*, 2013).

Berdasarkan penelitian terdahulu (Girisuta *et al.*, 2006; Cha & Hanna, 2002; Asghari & Yoshida., 2007), telah diketahui bahwa biomasa dapat dikonversi menjadi senyawa *platform chemical* yaitu senyawa yang bertindak sebagai prekursor untuk sintesis senyawa kimia baik intermediet maupun produk akhir. Penentuan jenis bahan baku biomasa yang digunakan dalam proses konversi menjadi *platform chemical* menjadi hal mendasar dan paling utama untuk dipertimbangkan baik dari sisi ekonomi maupun teknologi pengolahannya (Girisuta *et al.*, 2008).

Bahan baku biomasa tersebut harus memenuhi kriteria seperti (1) mudah didapat, (2) mudah dikonversi (3) tersedia dalam jumlah banyak dan dapat diperbarui serta (4) tidak berkompetisi dengan kebutuhan pangan manusia (Girisuta *et al.*, 2008).

Pemanfaatan biomasa untuk menghasilkan senyawa - senyawa *platform chemical* berupa asam levulinat (AL) telah banyak diteliti sebelumnya

(Girisuta *et al.*, 2006a; Asghari & Yoshida, 2007; Dussan *et al.*, 2013; Ren *et al.*, 2012; Weingarten *et al.*, 2013) dan dapat dihasilkan dari biomasa (selulosa, hemiselulosa, dan pati).

Asam levulinat (AL) atau *4-oxo-pentanoic acid* merupakan senyawa yang memiliki gugus keton dan asam karboksilat. Senyawa ini telah dikenal sejak tahun 1840 sebagai produk dari reaksi dekomposisi karbohidrat menggunakan asam-asam mineral (Asghari & Yoshida, 2007) dan dapat dimanfaatkan sebagai tambahan bahan bakar, polimer dan resin (Girisuta *et al.*, 2006b; Dussan *et al.*, 2013) serta prekursor berbagai macam senyawa kimia seperti prekursor obat-obatan, pelumas, adsorben, tinta, baterai, dan inhibitor korosi (Weingarten *et al.*, 2013).

Salah satu biomassa yang juga berpotensi untuk menghasilkan AL dan banyak tersedia di Riau adalah ubi gajah (*Manihot esculenta*). Tumbuhan ini merupakan salah satu tumbuhan ketela pohon yang kurang mendapat perhatian serius karena mengandung asam sianida (HCN) yang tinggi dengan usia panen sekitar 6-9 bulan, sehingga jarang dikonsumsi oleh manusia maupun hewan. Ubi gajah mudah tumbuh dan menghasilkan umbi yang besar dan banyak yaitu 100 ton per hektar dengan jarak tanam 1,5-2 meter atau sekitar 46 kg per batang (Yulia, 2012 & Astarina, 2012).

Meskipun telah banyak sumber bahan baku biomassa yang digunakan untuk memproduksi asam levulinat, upaya untuk menemukan biomassa yang ideal masih terus dilakukan. Penelitian ini difokuskan pada kajian lanjutan mengenai produksi asam levulinat dari

Manihot esculenta menggunakan katalis asam sulfat yang sebelumnya telah dilakukan oleh Astarina (2012).

Hal ini dimaksudkan agar data yang didapatkan dapat mendukung berbagai kajian lanjutan yang dilakukan oleh tim peneliti dalam upaya optimalisasi produksi asam levulinat menggunakan biomassa *Manihot esculenta*.

METODE PENELITIAN

a. Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah neraca analitis, gelas ampul (gelas kaca, diameter dalam 3 mm, tebal dinding 1.5 mm dan panjang gelas ampul 15 cm), vial, pipet ependorf 10-100 μ L dan 100-1000 μ L, pipet tetes, oven Elmasonic S 100H (Elma), penyaring Sartorius Stedim (biotech) Gettingen Germany, sentrifus, dan seperangkat alat HPLC, kolom aminex HPX-87H, detektor *refractive index (RI)* dan peralatan gelas lainnya yang biasa digunakan di Laboratorium.

Bahan – bahan yang digunakan dalam penelitian ini pati ubi gajah (*Manihot esculenta*), asam sulfat, larutan standar asam levulinat, glukosa, HMF, akuabides, es batu, dan *RO (reverse osmosis) water* dan bahan-bahan kimia lain yang diperlukan.

b. Persiapan bahan

1. Sampel Pati Ubi Gajah

Sampel ubi gajah diambil di dua lokasi yaitu di daerah kelurahan Pematang Pudu kecamatan Mandau dan di belakang kampus Fakultas Ekonomi,

Universitas Riau. Teknik pengambilan sampel dilakukan secara acak, tidak memperhitungkan usia tumbuh ubi dan lokasi pengambilan sampel. Sampel dari kedua lokasi tersebut dikumpulkan dan dibawa ke laboratorium untuk diekstraksi serta diperoleh pati ubi gajah.

2. Ekstraksi pati Ubi Gajah

Ubi gajah yang masih muda berwarna putih dikupas kulitnya dan dicuci bersih, kemudian diparut dan diperas. Air perasan yang berwarna coklat kekuningan didiamkan selama 1 hari (24 jam) untuk memisahkan antara pati dengan air. Kemudian akan terbentuk dua bagian yang terpisah, air berwarna coklat kekuningan dan padatan berwarna putih. Bagian padat yang berupa pati pada bagian bawah diambil dan diletakkan diatas cawan. Selanjutnya dioven pada suhu 80°C. Setelah kering pati ubi gajah dalam bentuk padatan digerus dan diayak (100 mesh) sehingga diperoleh serbuk pati ubi gajah berwarna putih yang dapat digunakan untuk penelitian selanjutnya.

c. Produksi asam levulinat

Sebanyak 1 gram sampel pati ubi gajah (*Manihot esculenta*) dilarutkan dalam 10 ml larutan asam sulfat masing-masing dengan konsentrasi 1%, 3% dan 5%, perbandingan pati dengan asam (1:10). Campuran tersebut dihomogenkan dan dimasukkan ke dalam gelas ampul dengan pipet tetes sebanyak 70% dari volume total cairan yang dapat diisi pada gelas ampul. Kemudian gelas ampul ditutup dengan cara dibakar. Gelas ampul yang berisi campuran pati ubi

gajah dan larutan asam sulfat dipanaskan menggunakan oven pada 3 (tiga) variasi suhu (150°C, 170°C dan 190°) selama interval waktu tertentu yang telah dikondisikan sebelumnya berdasarkan hasil penelitian yang didapatkan oleh Yulia, (2012) dan Astarina, (2012).

d. Analisis sampel

1. Analisis HPLC

Ampul dipotong dan larutan dikeluarkan dari ampul, dipindahkan dalam *ependorf*. Sebanyak 200 μ L larutan dimasukkan dalam *micro tube* dan diencerkan dengan menambahkan 1800 μ L air RO (*reverse osmosis*). Larutan disentrifus dengan kecepatan 13000 rpm selama 15 menit. Sebanyak 400 μ L larutan supernatan dipipet ke dalam botol vial kemudian dimasukkan ke dalam sistem HPLC selama 50 menit. Konsentrasi asam levulinat ditentukan dengan menggunakan kurva kalibrasi standar dari asam levulinat (Yulia, 2012). Kondisi pengoperasian HPLC dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Kondisi pengoperasian HPLC

No	Parameter	Kondisi
1	Fase gerak	H_2SO_4 5 mM
2	Kolom	Aminex HPX-87H, 300 mm x 7.8 mm
3	Detektor	<i>Refractive Index</i>
4	Laju alir	0.55 cm^3/menit
5	Volume injeksi	20 μL
6	Suhu kolom	60°C
7	Back pressure	1506 psi

2. Pengolahan data

Data dipresentasikan secara deskriptif dalam kurva tiap variabel suhu dan konsentrasi katalis asam sulfat selama interval waktu tertentu terhadap konsentrasi glukosa, HMF dan asam levulinat.

Penentuan konsentrasi tiap senyawa dirumuskan sebagai berikut :

1. Konsentrasi asam levulinat hasil analisis menggunakan HPLC didapatkan dalam satuan ppm.

$$\text{Kadar asam levulinat (\%)} =$$

2. Konsentrasi glukosa dan HMF hasil analisis menggunakan HPLC didapatkan dalam satuan ppm berdasarkan kandungan awal pati.

HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Ekstraksi Pati Ubi Gajah

Proses ekstraksi pati Ubi Gajah menghasilkan produk berupa pati dalam bentuk serbuk berwarna putih. Serbuk ini selanjutnya digunakan dalam proses hidrolisis menggunakan katalis asam sulfat. Komposisi pati Ubi Gajah dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Komposisi pati Ubi Gajah

Parameter	Satuan	Hasil	Metode
Glukosa	Ppm	1416	HPLC
Fruktosa	Ppm	1408	HPLC
Sukrosa	Ppm	6542	HPLC
Galaktosa	Ppm	0	HPLC
Selulosa	%	0	Gravimetri
Lignin	%	0	Gravimetri

Kadar air pada pati Ubi Gajah ditentukan menggunakan metode gravimetri di laboratorium Kimia

Anorganik Universitas Riau. Berdasarkan hasil analisa didapatkan kandungan air pada pati kering sebesar 10,97 %, sehingga kadar pati ubi gajah murni menjadi 89,03 %.

b. Proses hidrolisis pati ubi gajah

Konversi pati Ubi Gajah dilakukan melalui proses hidrolisis menggunakan katalis asam sulfat pada konsentrasi yang berbeda (1 %, 3 % dan 5 %) dan suhu yang berbeda (150°C, 170°C dan 190°C). Proses hidrolisis pati pada beberapa selang waktu tertentu dilakukan sebanyak dua kali pengulangan sebagai data kontrol penelitian dengan persentase perbedaan rata-rata total untuk glukosa, HMF, dan asam levulinat sebesar 6,40 %.

Pada umumnya, hasil hidrolisis pati menunjukkan terjadinya perubahan warna dari larutan yang awalnya bening tidak berwarna berubah menjadi larutan bening berwarna kuning kecoklatan. Endapan hitam yang dikenal dengan sebutan humin (Girisuta *et al.*, 2007; Chang *et al.*, 2006) juga muncul pada akhir proses hidrolisis pati.

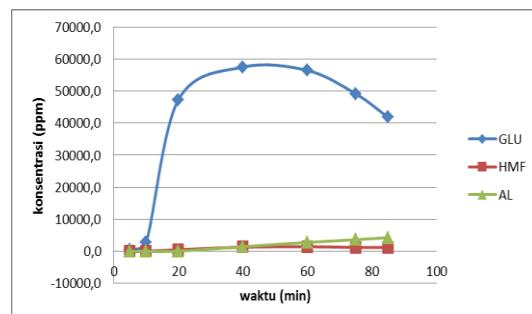
Padatan humin yang didapatkan menempel sangat kuat pada dinding bagian dalam gelas ampul dan sangat sulit untuk dikumpulkan secara keseluruhan. Pada penelitian ini tidak dilakukan perhitungan kadar humin hasil hidrolisis pati. Oleh sebab itu penjelasan lebih lanjut mengenai pembentukan padatan humin tidak dibahas pada penelitian ini.

Perbandingan kondisi optimum pembentukan glukosa dan HMF pada tiap suhu dan konsentrasi katalis dapat dilihat di Tabel 3.

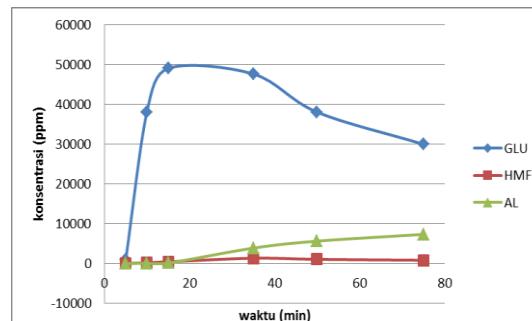
Tabel 3. *Yield* glukosa dan HMF optimum

Temp. (°C)	Asam sulfat (%)	Glukosa (%)	Waktu (min.)	HMF (%)	Waktu (min.)
150	1	64,6	40	1,6	60
	3	55,04	15	1,49	35
	5	54,10	15	1,10	35
170	1	62,78	35	3,21	35
	3	40,63	18	1,89	18
	5	43,69	7	1,46	20
190	1	47,79	10	2,85	20
	3	46,50	7	2,05	15
	5	40,86	7	1,91	10

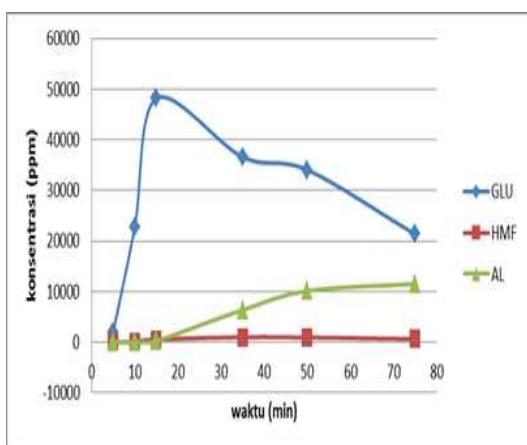
Kurva profil konsentrasi glukosa, HMF dan asam levulinat hasil proses hidrolisis pati menggunakan katalis asam sulfat pada suhu dan konsentrasi asam sulfat berbeda selama selang waktu tertentu dapat dilihat pada beberapa gambar berikut ini.



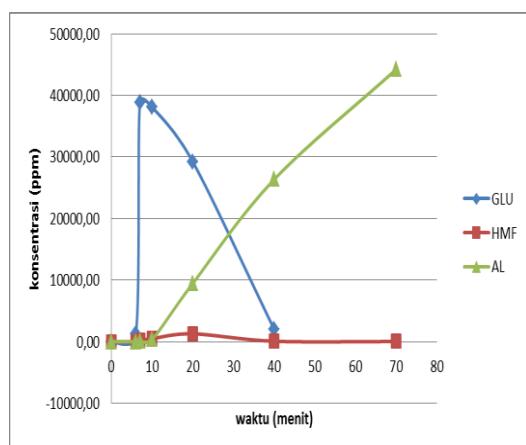
Gambar 1. Kurva hidrolisis pati pada $T=150^{\circ}\text{C}$ dan $C_{\text{katalis}}=1\%$



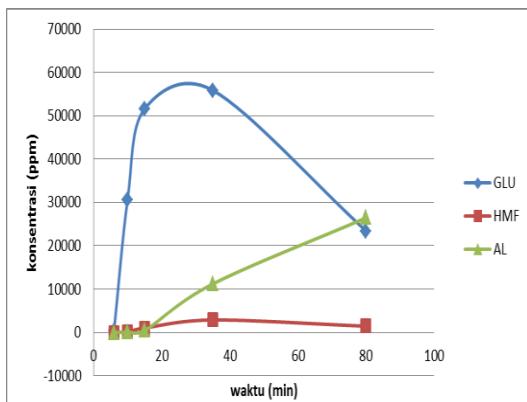
Gambar 2. Kurva hidrolisis pati pada $T=150^{\circ}\text{C}$ dan $C_{\text{katalis}}=3\%$



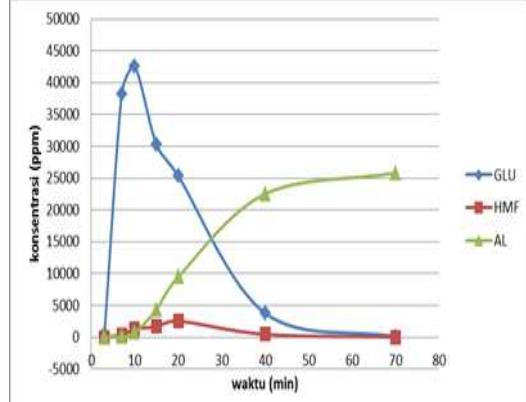
Gambar 3. Kurva hidrolisis pati pada $T=150^{\circ}\text{C}$ dan $C_{\text{katalis}}=5\%$



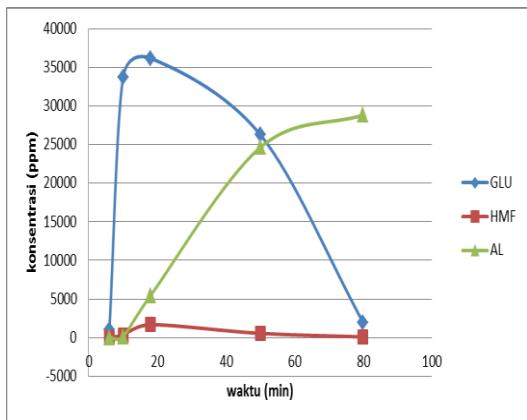
Gambar 6. Kurva hidrolisis pati pada $T=170^{\circ}\text{C}$ dan $C_{\text{katalis}}=5\%$



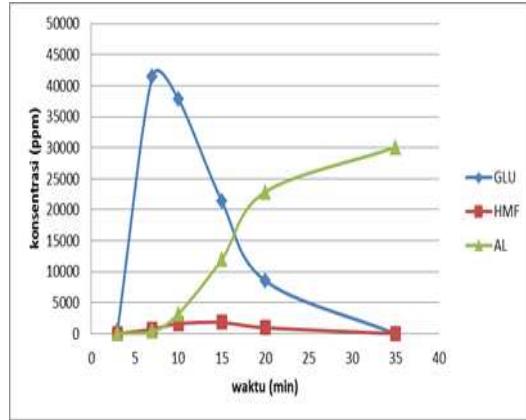
Gambar 4. Kurva hidrolisis pati pada $T=170^{\circ}\text{C}$ dan $C_{\text{katalis}}=1\%$



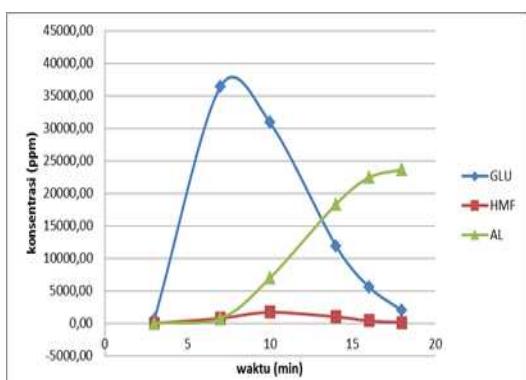
Gambar 7. Kurva hidrolisis pati pada $T=190^{\circ}\text{C}$ dan $C_{\text{katalis}}=1\%$



Gambar 5. Kurva hidrolisis pati pada $T=170^{\circ}\text{C}$ dan $C_{\text{katalis}}=3\%$



Gambar 8. Kurva hidrolisis pati pada $T=190^{\circ}\text{C}$ dan $C_{\text{katalis}}=3\%$



Gambar 9. Kurva hidrolisis pati pada $T=190^{\circ}\text{C}$ dan $C_{\text{katalis}}=5\%$

c. Konversi pati Ubi Gajah

Proses pembentukan asam levulinat dari glukosa meliputi beberapa mekanisme reaksi yang berawal dari pemutusan rantai amilosa dan amilopektin menjadi monomer glukosa melalui proses hidrolisis. Glukosa selanjutnya akan berisomerisasi dengan fruktosa dan membentuk HMF. Glukosa dan HMF juga mengalami reaksi bersaing yang akan membentuk humin (Rackemann & Doherty, 2010). Senyawa intermediet berupa HMF merupakan satu-satunya senyawa pembentuk asam levulinat. Girisuta *et al.* (2006) mendapatkan bahwa 95% HMF murni mengalami konversi membentuk asam levulinat dengan katalis asam sulfat

Pada penelitian ini, digunakan perbandingan pati dan asam sulfat 1:10 (10% b/v, 1 gram pati dalam 10 mL asam sulfat). Menurut Astarina (2012), kandungan pati dalam larutan mempengaruhi efisiensi karbohidrat menjadi asam levulinat.

Semakin tinggi jumlah pati dalam larutan (perbandingan jumlah pati dan larutan asam sulfat) akan menyebabkan penurunan laju

pembentukan asam levulinat. Hal ini disebabkan karena jumlah partikel pati dalam larutan yang semakin banyak akan mempersulit partikel bergerak dan mengakibatkan berkurangnya frekuensi tumbukan yang mengarah pada pembentukan produk.

Menurut Fang & Hanna (2002), laju konversi pembentukan asam levulinat menurun pada perbandingan masa pati yang lebih kecil. Proses hidrolisis pada suhu tinggi dengan katalis asam akan mendegradasi pati menjadi monomer glukosa yang selanjutnya mengalami pelepasan molekul H_2O membentuk hidroksi metil furfural (HMF), dan dengan adanya dua molekul air akan terkonversi menjadi asam levulinat dan asam formiat.

Pada penelitian ini, pengukuran kadar asam formiat tidak dilakukan karena lebih difokuskan pada pembentukan asam levulinat dari pati ubi gajah. Selain asam levulinat dan asam formiat, dihasilkan juga endapan hitam yang dikenal dengan sebutan humin (Girisuta *et al.*, 2006). Semakin banyak humin yang dihasilkan dari reaksi hidrolisis pati akan mengakibatkan pembentukan asam levulinat semakin berkurang (Astarina, 2012; Yulia, 2012).

d. Pengaruh suhu dan konsentrasi katalis

Secara umum, dapat dilihat pada kurva profil hidrolisis pada gambar (1-9) dan Tabel 3 bahwa kenaikan suhu reaksi akan meningkatkan laju pembentukan glukosa dari pati untuk mencapai konsentrasi optimum glukosa. Konsentrasi optimum glukosa pada waktu 150°C (1%) didapatkan pada waktu reaksi ± 40 menit sedangkan pada

suhu 170°C (1%) dan 190°C (1%) didapatkan pada waktu rata-rata kurang dari 35 menit. Kecenderungan yang sama juga terjadi pada variasi konsentrasi 3% dan 5% asam sulfat pada suhu 150°C, 170°C dan 190°C yang mencapai konsentrasi optimum glukosa pada waktu rata-rata kurang dari 10 menit dan bahkan 7 menit pada konsentrasi asam sulfat yang lebih tinggi dengan naiknya suhu reaksi.

Pada suhu tinggi penurunan konsentrasi glukosa semakin cepat terjadi dengan naiknya konsentrasi asam sulfat. Hal yang sama juga didapatkan pada penelitian yang dilakukan oleh Astarina (2012) dan Yulia (2012). Penurunan konsentrasi glukosa tersebut menunjukkan bahwa sebagian glukosa telah mengalami perubahan menjadi HMF dan produk bersaing berupa humin. Produk berupa HMF selanjutnya akan terkonversi menjadi asam levulinat.

Secara umum, konsentrasi glukosa optimum pada tiap variasi suhu mengalami penurunan dengan naiknya konsentrasi asam sulfat. Namun, waktu yang dibutuhkan untuk mencapai konsentrasi optimum semakin singkat. Hal tersebut dapat dilihat pada Tabel 3. Menurut Chun *et al.*, (2006) suhu dan konsentrasi asam sulfat yang tinggi akan menyebabkan reaksi dekomposisi lebih mengarah kepada pembentukan produk samping berupa humin. Selain itu, suhu dan konsentrasi asam sulfat yang tinggi akan meningkatkan laju dekomposisi glukosa sehingga konsentrasi glukosa yang terdeteksi semakin sedikit. Pada kurva profil hidrolisis yang tersaji pada Gambar (1-9) dapat dilihat bahwa pada kenaikan konsentrasi asam levulinat mulai terjadi saat menurunnya konsentrasi glukosa dan menunjukkan

keterkaitan yang jelas antara glukosa dan asam levulinat dari proses hidrolisis pati ubi gajah.

Fang & Hanna (2002) juga mempelajari pengaruh konsentrasi katalis asam sulfat terhadap persentase asam levulinat yang dihasilkan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa persentase asam levulinat meningkat pada kenaikan konsentrasi katalis (1-5%). Berdasarkan kurva profil hidrolisis yang tersaji pada Gambar (1-9) didapatkan bahwa tidak adanya pengaruh yang jelas antara HMF dan pembentukan asam levulinat.

Berdasarkan mekanisme yang dipaparkan oleh Kuster (1978), 1 mol HMF yang berasal dari 1 mol glukosa akan terkonversi menjadi 1 mol asam levulinat dan 1 mol asam formiat. Perbandingan tersebut tidak sesuai dengan dengan semua kurva profil hidrolisis pati pada Gambar (1-9) dan Tabel. 3 yang menunjukkan bahwa konsentrasi HMF jauh lebih kecil jika dibandingkan dengan konsentrasi glukosa dan asam levulinat yang dihasilkan. Hasil kurva profil hidrolisis tersebut tersebut juga sama dengan hasil penelitian yang didapatkan oleh Girisuta *et al.*, (2008) dan Dussan *et al.*, (2013). Hal ini terjadi karena laju dekomposisi HMF yang lebih cepat dalam membentuk asam levulinat daripada laju dekomposisi glukosa membentuk HMF.

e. Yield asam levulinat

Pada penelitian ini konsentrasi optimum asam levulinat hasil proses hidrolisis pati belum dapat ditentukan secara akurat. Hal ini disebabkan kenaikan konsentrasi asam levulinat yang masih terjadi sampai akhir waktu

reaksi di tiap variasi suhu dan konsentrasi katalis. *Yield* asam levulinat hasil percobaan dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel. 4. *Yield* asam levulinat

Temp. (°C)	Asam sulfat (%)	<i>Yield</i> AL (%)	Waktu (min.)
150	1	4,8	85
	3	8,22	75
	5	12,93	75
170	1	29,72	80
	3	32,37	80
	5	49,68	70
190	1	28,96	70
	3	33,77	35
	5	26,58	18

Berdasarkan perbandingan data antara suhu 150°C dan 170°C (waktu reaksi 70-85 menit) dapat disimpulkan bahwa kenaikan suhu dan konsentrasi asam sulfat dapat meningkatkan konsentrasi asam levulinat. Hal ini disebabkan oleh laju reaksi yang semakin cepat dengan naiknya suhu dan konsentrasi asam sulfat terhadap proses pembentukan asam levulinat.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, telah didapatkan bahwa asam levulinat dapat dihasilkan melalui reaksi hidrolisis pati ubi gajah (*Manihot esculenta*) dengan *yield* AL mencapai 50% (170°C, $C_{cat}=5\%$ $t=70$ min). Semakin tinggi suhu reaksi dan konsentrasi asam sulfat, konsentrasi glukosa optimum yang dihasilkan akan semakin sedikit. Hal ini disebabkan karena senyawa glukosa telah terkonversi menjadi AL melalui senyawa HMF sebagai produk intermediet. Laju dekomposisi HMF berlangsung lebih cepat dibandingkan laju pembentukan HMF dari glukosa dan

laju dekomposisi glukosa meningkat dengan meningkatnya suhu dan konsentrasi katalis.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Prof. Dr. H. Amir Awaluddin, M.Sc yang telah membiayai dan membimbing penulis dalam melakukan penelitian ini. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Prof. Dr. Saryono, M.Si yang telah membimbing, memotivasi, serta membantu penelitian dan penulisan karya ilmiah ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Asghari, S.F & Yoshida, H. 2007. Kinetics of The Decomposition of Fructose Catalyzed by Hydrochloric Acid in Subcritical Water : Formation of 5-Hydroxymethylfurfural, levulinic, and Formic Acids. *Ind. Eng. Chem. Res.* 46: 7703-7710.
- Astarina, N. 2012. *Konversi Pati Ubi Gajah (Manihot esculenta) Menjadi Asam Levulinat dengan Katalis Asam Sulfat*. Tesis Jurusan Kimia FMIPA. Universitas Riau, Pekanbaru.
- Cha, J.Y. & Hanna, M.A. 2002. Levulinic Acid Production Based on Extrusion and Pressurized Batch Reaction. *Industrial Crops and Products Elsevier*. 16: 109-118.
- Chun, C., Xiaojian, M.A., and Peilin, Cen. 2006. Kinetic of Levulinic Acid Formation from Glucose

- Decomposition at High Temperature. *Biotechnology and Bioengineering, Chinese Journal of Chemical Engineering.* 14: 708-712.
- Dussan, K., Girisuta, B., Haverty, D., Leahy, J., and Hayes, M.H.B. 2013. Kinetics of Levulinic Acid and Furfural Production from Miscanthus x giganteus. *Bioresources Technology Elsevier.* 149: 216-224.
- Fang, Q & Hanna, M.A. 2002. Experimental Studies for Levulinic Acid Production from Whole Kernel Grain Sorghum. *Bioresource Technology Elsevier.* 81: 187-192.
- Girisuta, B., Danon, B., Manurung, R., Janssen, L.P.B.M., and Heeres, H.J. 2008. Experimental and Kinetic Studies on The Acid Catalysed Hydrolysis of The Water Hyacinth Plant to Levulinic Acid. *Biores. Tech.* 99: 8367-8375.
- Girisuta, B., Janssen, L.P.B.M., and Heeres, H.J. 2006a. Green Chemical: A Kinetic Study on The Conversion of Glucose to Levulinic Acid. *Chemical Engineering Research and Design,* 84(A5): 339-349.
- Girisuta, B., Janssen, L.P.B.M., and Heeres, H.J. 2006b. Kinetic Study on The Decomposition of 5-hydroxymethylfurfural into Levulinic Acid. *Green Chem.* 8: 701-709.
- Kuster, B. 1975. The Dehydration of D-Fructose. *Geroben T Groningen,* Eindhoven, The Netherlands.
- Rackemann, W.D & Doherty, O.S.W. 2010. Review: The Conversion of Lignocellulosic to Levulinic Acid. *Biofuels, Bioprod. Bioref.* 5: 198-214.
- Ren, H., Zhou, Y., and Liu, L. Selective Conversion of Cellulose to Levulinic Acid via Microwave-assisted Synthesis in Ionic Liquids. 2012. *Bioresource Technology Elsevier.* 129: 616-619.
- Weingarten, R., Tae Kim, Y., Tompsett, A.G., Fernandez, A., Sung Han, K., Hagaman, W.E., Conner Jr, C.W., Dumesic, A.J., and Huber, W.G. 2013. Conversion of Glucose into Levulinic Acid with Solid Metal (IV) Phosphate Catalysts. *Journal of Catalysis Elsevier.* 304: 123-134.
- Yulia, I. 2012. *Studi Produksi Asam Levulinat dari Pati ubi Gajah (Manihot esculenta) dengan Katalis Asam Klorida.* Tesis Jurusan Kimia FMIPA. Universitas Riau, Pekanbaru.