

## INTISARI

Ampas tebu dianggap menarik untuk dijadikan *feedstock* skala besar untuk bahan kimia, seperti *levulinic acid* (LA). Menurut US *Department of Energy*, LA termasuk ke dalam 12 besar bahan kimia bernilai lebih dari biomassa dan turunannya. *Levulinic acid* memiliki gugus fungsi karbonil sekaligus karboksil yang membuatnya memiliki reaktivitas tinggi untuk digunakan dalam berbagai aplikasi, seperti pelarut, aditif makanan, aditif bensin, bahan baku kosmetik, pewangi, dan *plasticizer*.

Pada penelitian ini dilakukan sintesis LA dari ampas tebu dengan didahului oleh *pretreatment*. Tahapan *pretreatment* dilakukan dengan mereaksikan ampas tebu dengan natrium hidroksida (NaOH) dan hidrogen peroksida (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) atau biasa disebut dengan metode alkali-asam untuk menghilangkan hemiselulosa dan lignin di dalam bahan baku. Selulosa yang diperoleh dari tahap *pretreatment* menuju ke tahapan selanjutnya yaitu sintesis LA dengan bantuan katalis asam klorida (HCl) yang termasuk ke dalam jenis asam Brønsted. Data yang diperoleh dievaluasi menggunakan model reaksi heterogen yaitu *shrinking core model* untuk reaksi selulosa menjadi glukosa dan model reaksi homogen orde satu untuk reaksi glukosa menjadi LA. Kemudian, dipelajari pula *Life Cycle Assessment* (LCA) terhadap proses produksi LA dari ampas tebu guna mengevaluasi dampak lingkungan yang berpotensi ditimbulkannya.

Berdasarkan percobaan, *pretreatment* dengan metode alkali-asam mampu menghasilkan bahan baku dengan kandungan selulosa yang lebih tinggi dari semula. Kemudian, dari eksperimen sintesis LA dapat diamati pengaruh kondisi operasi pada *yield* LA. Potensi *yield* LA maksimum untuk berbagai variasi suhu relatif sama, tetapi waktu untuk mencapainya berbeda. Semakin tinggi suhu, semakin cepat potensi *yield* LA maksimum dapat tercapai. Kecenderungan yang sama juga diperoleh dengan memvariasikan konsentrasi katalis. Berbeda dengan itu, rasio solid-liquid memberikan pengaruh pada potensi *yield* LA maksimum. Semakin tinggi rasio solid-liquid justru semakin rendah *yield* LA yang dihasilkan. *Yield* LA tertinggi yang dapat diperoleh dari penelitian ini sebesar 64,05% pada suhu 160°C, konsentrasi HCl 1 M, dan rasio solid-liquid 1%.

Evaluasi model reaksi sintesis LA dari selulosa dengan menggunakan gabungan *shrinking core model* dan reaksi homogen orde satu memberikan hasil yang bagus. Rute reaksi yang terjadi pada sintesis LA yang dikatalisasi HCl (asam Brønsted) tersebut ialah



selulosa-glukosa-*levoglucosan*(LG)-*hydroxymethylfurfural*(HMF)-LA. Dari semua seri reaksi, tahapan yang mengontrol adalah dekomposisi selulosa menjadi glukosa. Semua konstanta laju reaksi mengalami peningkatan dengan naiknya suhu. Nilai energi aktivasi tertinggi ialah pada tahap dekomposisi glukosa menjadi LG yang artinya tahap tersebut paling sensitif terhadap suhu. Semakin tinggi konsentrasi katalis, semakin tinggi pula nilai konstanta laju reaksi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa konstanta laju reaksi berbanding lurus dengan konsentrasi katalis asam. Berbeda dari pengaruh suhu dan konsentrasi katalis, variasi rasio solid-liquid tidak memberikan tren yang jelas pada nilai konstanta laju reaksi. Sesuai dengan hasil eksperimen, rasio solid-liquid hanya mempengaruhi *yield* LA maksimum dan tidak mempengaruhi kecepatan reaksi.

Tahap terakhir dari penelitian ini ialah evaluasi LCA untuk mengetahui dampak lingkungan yang ditimbulkan. Evaluasi LCA ini dilakukan pada dua skenario. Berdasarkan hasil *Life Cycle Impact Assessment* (LCIA), Skenario 2 relatif lebih baik dari sisi lingkungan dibandingkan dengan Skenario 1 pada beberapa aspek tertentu ketika dinilai menggunakan metode CML(*baseline*). Namun, ketika evaluasi dilakukan dengan metode Eco-indicator 99, semua kategori dampak dari Skenario 1 jauh lebih baik dari Skenario 2. Tahapan yang memberikan kontribusi paling besar pada dampak lingkungan dari Skenario 1 ialah tahapan *pretreatment* ampas tebu akibat penggunaan  $H_2O_2$ . Untuk meminimalisasi dampak tersebut, *recycle* perlu dilakukan agar  $H_2O_2$  dapat digunakan kembali dan tidak terbuang ke lingkungan. Sementara itu, dampak lingkungan dari Skenario 2 paling banyak berasal dari penggunaan *steam* di tahap purifikasi dan penggunaan katalis  $H_2SO_4$  pada tahap sintesis LA. Pada tahap sintesis LA dari Skenario 2, katalis  $H_2SO_4$  yang digunakan sangat banyak yang mana sangat berpengaruh pada tahapan purifikasi. Oleh karena itu, tahapan sintesis LA dengan menggunakan katalis  $H_2SO_4$  perlu ditinjau ulang, misalnya dengan meningkatkan suhu reaksi sehingga mengurangi kebutuhan katalis  $H_2SO_4$  dengan konsekuensi ada penambahan dampak lingkungan dari sisi pemanasan atau mengganti  $H_2SO_4$  dengan katalis lain yang lebih efektif.

**Kata kunci:** Ampas Tebu, Asam Brønsted, *Levoglucosan*, *Levulinic Acid*, *Life Cycle Assessment*, *Pretreatment*, *Shrinking Core Model*

## **ABSTRACT**

*Bagasse is attractive as a large-scale feedstock for chemicals, such as levulinic acid (LA). According to the US Department of Energy, LA is included in the top 12 valuable chemicals synthesized from biomass and its derivatives. Levulinic acid has carbonyl and carboxyl functional groups, making it highly reactive for use in various applications, such as solvents, food additives, fuel additives, cosmetic raw materials, fragrances, and plasticizers.*

*In this study, the synthesis of LA from bagasse was preceded by a pretreatment by reacting bagasse with sodium hydroxide (NaOH) and hydrogen peroxide (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), commonly called alkaline-acid method, to remove hemicellulose and lignin in the raw material. Cellulose obtained from the pretreatment went to the next stage, the LA synthesis, with the help of hydrochloric acid (HCl) as the catalyst, which belongs to the Brønsted acid type. The experimental data were evaluated using a heterogeneous reaction model, namely the shrinking core model for the reaction of cellulose to glucose and the first-order homogeneous reaction model for the reaction of glucose to LA. Then, the Life Cycle Assessment (LCA) of the LA production process from bagasse was also studied to evaluate the potential environmental impact it could cause.*

*Based on the experiment, the alkaline-acid pretreatment was able to produce raw materials with a higher cellulose content. Then, the LA synthesis experiment showed that the operating conditions affect the LA yield. The difference in temperature did not make the maximum yield potential of LA to differ significantly, but the time to reach it did. The higher the temperature, the less the time needed to get the maximum yield potential of LA. The same trend also appeared by varying the catalyst concentration. Increasing the catalyst concentration speeded up the maximum yield potential of LA to reach. In contrast, the solid-to-liquid ratio influenced the maximum yield potential of LA. The higher the solid-to-liquid ratio brought the LA yield to be lower. The highest LA yield obtained in this study was 64.05% at 160°C, 1 M HCl concentration, and 1% solid-to-liquid ratio.*

*The evaluation of the model of the LA synthesis reaction from cellulose using a shrinking core model and a first-order homogeneous reaction gave good fitting results. The reaction route in the LA synthesis catalyzed by HCl (Brønsted acid) was cellulose-glucose-levoglucosan(LG)-hydroxymethylfurfural(HMF)-LA. Of all the reaction series,*



*the controlling step was the cellulose decomposition into glucose. All reaction rate constants increased along with the increase in temperature. The highest activation energy value was at the glucose-into-LG step, which means that this stage was the most sensitive to temperature. The higher the catalyst concentration, the higher the value of the reaction rate constant. The experimental results showed that the reaction rate constant was proportional to the acid catalyst concentration. Different from the effects of temperature and catalyst concentration, the variation of the solid-to-liquid ratio did not give a clear trend in the value of the reaction rate constant. According to the experimental results, the solid-to-liquid ratio only affected the maximum yield potential of LA and did not affect the reaction speed.*

*The last stage of this research was LCA evaluation, which was performed in two scenarios. Scenario 1 was this study itself, while Scenario 2 was based on the report by Lopes et al. (2017) as a comparison. Based on the Life Cycle Impact Assessment (LCIA) results, Scenario 2 was relatively better from the environmental perspective than Scenario 1 in certain aspects when assessed using the CML(baseline) method. However, when the evaluation was conducted using the Eco-indicator 99 method, all categories of impacts of Scenario 1 were much better than that in Scenario 2. The stage that contributed the most to the environmental impact of Scenario 1 was the bagasse pretreatment due to the use of  $H_2O_2$ . To minimize this impact, recycling needs to be done so that  $H_2O_2$  can be reused and not wasted in the environment. Meanwhile, the environmental impact of Scenario 2 mostly comes from the use of steam in the purification stage and the use of  $H_2SO_4$  catalyst in the LA synthesis stage. In the LA synthesis stage from Scenario 2, a large amount of  $H_2SO_4$  catalyst was used, significantly affecting the purification stage. Therefore, the stage of LA synthesis using  $H_2SO_4$  as the catalyst need to be reviewed, for example, by increasing the reaction temperature to reduce the need for  $H_2SO_4$  which, consequently, can cause environmental impacts due to the heating process or replacing  $H_2SO_4$  with other more effective catalysts.*

**Keywords:** *Brønsted Acid, Levoglucosan, Levulinic Acid, Life Cycle Assessment, Pretreatment, Shrinking Core Model, Sugarcane Bagasse*