

INTISARI

Pabrik gula disamping menghasilkan produk utama yang berupa gula pasir, terdapat pula hasil samping dari proses pemerahan nira berupa ampas tebu. Sampai saat ini sebagian ampas tebu tersebut dimanfaatkan sebagai bahan bakar pada boiler dan masih banyak yang belum dimanfaatkan. Padahal ampas tebu tersebut dapat dinaikkan nilai ekonomisnya dengan teknologi gasifikasi. Tahapan proses gasifikasi terdiri dari empat tahap yaitu pengeringan, pirolisis, reaksi reduksi-oksidasi dan reaksi oksidasi. Penelitian ini bertujuan mempelajari konversi ampas tebu menjadi gas sintesis (*syngas*) yang dapat digunakan sebagai sumber *chemical platform* untuk produksi *biochemical* atau dipakai sebagai bahan baku untuk energi bersih.

Torefaksi adalah pemanasan secara perlahan biomassa dalam kondisi basah atau kering selama satu jam sebelum digunakan sebagai bahan baku gasifikasi. Manfaat dari torefaksi adalah memperbaiki kualitas biomassa agar struktur padatnya lebih *uniform*, kandungan *moisture* rendah dan kandungan energi yang lebih tinggi dari biomassa mentah. Dari hasil penelitian tahap pertama diperoleh suhu optimal torefaksi kering ampas tebu adalah 150°C dari sisi kestabilan suhu reaksi gasifikasi, *yield* dan kualitas *syngas* yang lebih baik jika dibanding suhu torefaksi 100, 125, 175, 200, dan 225°C.

Penelitian tahap kedua difokuskan untuk mempelajari mekanisme dan kinetika reaksi pirolisis non-katalitik dan katalitik ampas tebu mentah dan ampas tebu tertorefaksi. Proses pirolisis ampas tebu mentah dan tertorefaksi terjadi dalam dua tahap pirolisis yaitu tahap dekomposisi cepat pada suhu 260-340°C dan tahap dekomposisi lambat pada suhu 340-480°C. Pada tahap dekomposisi cepat, nilai order reaksi (n) dan konstanta reaksi (K) untuk ampas tebu mentah $n=5,245$ ($n>1$) dan $K=15,348$ sedangkan tertorefaksi $n=5,040$ dan $K=17,167$. Pada tahap dekomposisi lambat, ampas tebu mentah $n=0,356$ dan $K=0,065$ sedangkan tertorefaksi $n=0,553$ dan $K=0,145$.

Penambahan katalis Ca memberikan kinetika reaksi yang lebih baik dari katalis Mg. Pada tahap dekomposisi cepat, nilai n dan K untuk ampas tebu tertorefaksi yang ditambah katalis Ca adalah 4,738 dan 14,325, sedangkan untuk penambahan katalis Mg nilai $n=3,059$ dan $K=2,411$. Pada tahap dekomposisi lambat, nilai $n=0,331$ dan $K=0,066$ untuk katalis Ca dan $n=0,835$ dan $K=0,343$ untuk katalis Mg. Konstanta kinetika reaksi pirolisis ampas tebu tertorefaksi lebih besar dari ampas tebu mentah.

Pada tahap ketiga dipelajari mekanisme dan kinetika reaksi gasifikasi *char* ampas tebu baik katalitik dan non katalitik. Persamaan kinetika gasifikasi *char* non katalitik mengikuti persamaan kinetika orde satu dengan nilai $K=0,0056$ untuk ampas tebu mentah dan $K=0,0064$ untuk torefaksi. Orde reaksi gasifikasi *char* katalitik untuk ampas tebu mentah dan torefaksi juga menunjukkan orde satu, nilai K ampas tebu mentah dengan katalis Ca adalah 0,0095 dan torefaksi 0,0658. Sedangkan untuk *loading* katalis K , nilai K ampas tebu mentah 0,5660 dan torefaksi 0,1665.

Tahapan akhir dari penelitian ini adalah analisis eksergi untuk menentukan kehilangan eksergi selama proses gasifikasi. Simulasi proses gasifikasi dilakukan dengan menggunakan empat model gasifikasi yaitu gasifikasi *in-situ*, *dual step*, *triple step* dan *triple step* dengan *recycle*. Simulasi dilakukan dengan bantuan aplikasi *software ASPEN®*. Dari hasil simulasi diperoleh peluang meminimalkan kehilangan eksergi dengan melakukan integrasi donor dan aseptor eksergi.

Kata kunci : eksergi, gasifikasi, katalis, pirolisis, simulasi, termogravimetri, dan torefaksi.

ABSTRACT

In daily operation, sugar mill will produce main product of granulated sugar and side product *i.e.* sugarcane bagasse, molasses, and filter cake. Until now, sugarcane bagasse is still used as fuel in direct combustion of sugar mill's boiler and other purpose not yet utilized. The economic value of sugarcane bagasse, as a potential biomass, can be improved with conversion of sugarcane bagasse into synthetic gas using gasification process. This process consists of four steps: drying, pyrolysis, oxidation-reduction and oxidation reaction. This research aims to study the conversion of bagasse into a synthetic gas which can be used as a source for production of biochemical platform or used as feedstock for clean energy.

Torrefaction is mild pyrolysis with process slow heating of biomass in temperature of 100-300°C. The advantage of torrefaction is encounter problem in gasification when use agricultural biomass as raw material. Torrefaction will increase the quality of biomass become more uniform of solid structure, low moisture content and higher energy content than raw biomass. In the first experimental work, dry torrefaction is conducted in temperature of 100, 150, 175, 200, 225, 250 and 300°C. Result of the first work showed optimum temperature of dry torrefaction is 150°C. At this temperature, the reactor gasification temperature is more stabile, yield and quality of syngas will higher than other torrefaction temperature.

The second experimental study is conducted in order to determine the reaction kinetic and mechanism of catalytic and non-catalytic pyrolysis for raw and torrefied sugarcane bagasse. Pyrolysis process, both raw and torrefied bagasse, occurs in two stage *i.e.* rapid in temperature of 260-340°C and slow decomposition stages in 340-480°C. At the stage of rapid decomposition, value of reaction order (n) for raw bagasse is 5.245 ($n > 1$) and $K=15.348$, while torrefied bagasse $n=5.040$ and $K=17.167$. At the slow decomposition, value of n for raw bagasse is 0.356 and $K=0.065$ while torrefied bagasse is $n=0.553$ and $K=0.145$.

The loading of Ca catalyst will increase reaction kinetic of pyrolysis better than Mg catalyst. At rapid decomposition, value of reaction order (n) for torrefied bagasse with Ca loading is 4.738 and $K=14.325$, while Mg loading will give $n=3.059$ and $K=2.411$. At the slow decomposition, value of n for Ca loading is 0.331 and $K=0.066$ while Mg loading is 0.835 and $K=0.343$. Reaction constant for pyrolysis of torrefied sugarcane bagasse is greater than raw bagasse.

The third phase of experimental study determine the mechanism and kinetic of catalytic and non-catalytic gasifications for bagasse char. Kinetic equation of non catalytic gasification for char follow equation of order one, value of K is 0.0056 for raw bagasse and 0.0064 for torrefied. Order of reaction for catalytic gasification of char is also orde one, value of K with Ca loading is 0.0095 for raw bagasse and 0.0658 for torrefied bagasse. Meanwhile for K loading, value of K is 0.5660 for raw and 0.1665 for torrefied bagasse.

The final stage of study is exergy analysis to determine exergy loss during the gasification process. Simulation of gasification process is done in four models gasification namely the in-situ gasification, dual step, triple step, and triple step with recycle of exhaust gas as gasifying agent. The simulation is performed using ASPEN® and the results shows an opportunity to minimize exergy losses by integrating donor and acceptor.

Key words: exergy, gasification, catalyst, pyrolysis, simulation, thermogravimetry, and torrefaction.