

PENGARUH TEMPERATUR DAN WAKTU TINGGAL PADA PERLAKUAN AWAL BAGASSORGUM DENGAN METODE STEAM EXPLOSION

Yanni Sudyani (*), Joko Waluyo, Andika Putra Riandy, Prasetyo Primandaru, Novia

(*)Research Center for Chemistry Indonesian Institute of Science-LIPI

Kawasan Puspiptek Serpong (15310), Indonesia. Telp. (021)7560929 – Fax. (021)7560549

Email: sudiyani@gmail.com

ABSTRAK

Bagas sorgum merupakan salah satu sumber biomassa lignoselulosa yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuatan bioetanol. Pada proses pembuatan bioetanol, tahap perlakuan awal bahan baku merupakan salah satu tahapan penting yang perlu diperhatikan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh temperatur dan waktu tinggal pada perlakuan awal bagas sorgum dengan metode *steam explosion*. Pada penelitian ini, rasio bagas sorgum dan larutan NaOH 10% yang dimasukkan ke dalam reaktor *Steam Explosion* yaitu 1:5 (m:v), tekanan 4 bar, variasi temperatur 110°C, 130°C, 150°C dan variasi waktu tinggal 10 menit, 20 menit, dan 30 menit. Pada tahapan sakarifikasi enzimatik, digunakan enzim selulase dan -glukosidase dengan perbandingan 5:1. Kadar komponen gula diukur dengan *High Performance Liquid Chromatography* sedangkan kadar lignin diukur dengan *UV Spectrophotometer*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sampel dengan temperatur perlakuan awal 130°C dan waktu tinggal 30 menit memiliki kadar selulosa tertinggi sebesar 88.25% dari kadar mula-mula 39.49%. Sementara itu kadar hemiselulosa dan ligninnya masing-masing menurun sebesar 8.01% dan 19.3% dari kadar mula-mula. Kadar glukosa tertinggi ditunjukkan oleh sampel dengan temperatur perlakuan awal 110°C dan waktu tinggal 20 menit yaitu sebesar 8.53%.

Kata kunci: bagas sorgum, komponen gula, perlakuan awal, sakarifikasi enzimatik, steam explosion

ABSTRACT

Sorghum bagasse is one of lignocellulose biomasses which can be converted into bioethanol. In bioethanol production, pretreatment process is one of important steps that should be taken into account. This research aims to investigate the influence of temperature and residence time in the pretreatment process of sorghum bagasse using steam explosion pretreatment method. In this research, total mass of sorghum bagasse to NaOH 10% solution ratio that was input in the Steam Explosion Bench Scale reactor was 1:5 (w:v), the pressure was maintained at 4 bars, the temperature variations were 110°C, 130°C, 150°C and the residence time variations were 10 minutes, 20 minutes, and 30 minutes. In enzymatic saccharification, cellulase to -glucosidase enzyme ratio used in the process was 5:1 (v:v). Sugar content was measured by High Performance Liquid Chromatography while lignin content was measured by UV Spectrophotometer. The results showed that the highest cellulose content after pretreatment was 88.25% (130°C, 30 minutes) from the initial at 39.49%. However, the hemicellulose and lignin content decreased by 8.01% and 19.3% respectively. The highest glucose yield after enzymatic saccharification process was 8.53% (110°C, 20 minutes).

Keywords: sorghum bagasse, sugar component, pretreatment, enzymatic saccharification, steam explosion

1. PENDAHULUAN

Kebutuhan bahan bakar minyak (BBM) di Indonesia semakin meningkat seiring dengan bertambahnya jumlah penduduk. Menurut data Kajian *Supply Demand Energy* oleh Kementerian ESDM pada tahun 2012, total kebutuhan bahan bakar minyak di Indonesia pada tahun 2011 sebesar 445,88 juta barrel/tahun sementara total produksinya sebesar 237.12 juta barrel/tahun. Kurangnya jumlah produksi untuk memenuhi jumlah kebutuhan akan bahan bakar minyak menyebabkan terjadinya impor bahan bakar minyak di Indonesia. Salah satu cara untuk mengurangi impor bahan bakar minyak di Indonesia yaitu dengan meningkatkan pemanfaatan serta produksi energi alternatif lain

seperti bahan bakar nabati. Salah satu contoh bahan bakar nabati tersebut adalah bioetanol.

Bioetanol dapat diproduksi dari bahan baku biomassa yang mengandung gula, pati atau lignoselulosa. Beberapa contoh biomassa lignoselulosa yaitu jerami padi, ampas tebu, tongkol jagung, dan bagas sorgum. Pada penelitian ini, biomassa lignoselulosa yang hendak diteliti adalah bagas sorgum. Bagas sorgum mengandung 63,98% karbohidrat dan 18,6% lignin (Sipos *Bet al.*, 2008). Ketersediaan sorgum dan luas lahan sorgum di Indonesia relatif tinggi. Pada tahun 2011, total produksi sorgum di Indonesia mencapai 7695 ton dengan luas lahan seluas 3607 ha. Angka ini meningkat dari tahun 2010 dengan total produksi sorgum

sebesar 5723 ton dan luas lahan seluas 2974 ha (Subagio H dan Suryawati S, t.t).

Pembuatan bioetanol dari bagas sorgum, sama seperti pada kebanyakan biomassa lainnya, terdiri dari beberapa tahapan. Tahapan-tahapan tersebut yaitu perlakuan awal (*pretreatment*), hidrolisis, dan fermentasi. Pada penelitian ini, hendak dipelajari bagaimana pengaruh variabel waktu tinggal dan temperatur pada perlakuan awal bagas sorgum dengan menggunakan metode *steam explosion*.

Biomassa Lignoselulosa

Biomassa lignoselulosa merupakan biomassa yang tersusun atas komponen selulosa, hemiselulosa dan lignin. Dinding sel biomassa lignoselulosa merupakan material komposit yang terdiri dari serat kristal selulosa yang terikat dengan hemiselulosa dan dikelilingi oleh matrik hemiselulosa dan lignin (Harmsen *et al.*, 2010). Biomassa memiliki komposisi yang berbeda antara satu sama lain dan besaran nilainya bergantung pada spesies serta kondisi lingkungannya. Komposisi biomassa dan interaksi komponen-komponen di dalam dinding sel memengaruhi proses hidrolisis karbohidrat. Oleh karena itu mengenali karakteristik tiap komponen yang terkandung di dalam biomassa lignoselulosa sangat penting untuk mengolah biomassa lignoselulosa secara efektif dan efisien.

Keberadaan sumber biomassa lignoselulosa di dunia sangatlah melimpah. Sorgum sebagai salah satu sumber biomassa lignoselulosa sekaligus sumber makanan pokok penting di dunia menempati urutan kelima setelah gandum, beras, maizena, dan barley. Sorgum manis memiliki potensi yang baik untuk dijadikan sebagai tanaman sumber energi. Sorgum manis termasuk ke dalam kelompok tanaman dengan aktivitas fotosintesis yang tinggi sehingga tanaman tersebut dapat tumbuh hampir di berbagai area iklim tropis. Tanaman ini hanya memerlukan sedikit pupuk dan air untuk tumbuh bila dibandingkan dengan tanaman sumber gula lainnya (Sipos *et al.*, 2008). Sorgum manis memiliki karakteristik kandungan gula yang tinggi, khususnya untuk fraksi glukosa, sukrosa, dan fruktosa (Subagio dan Aqil, 2013). Menurut Mutepe (2012), bagas sorgum manis yang telah dikeringkan memiliki kandungan selulosa, hemiselulosa dan lignin masing-masing sebesar 32.3%, 21.2%, dan 8.3% sementara komponen kimia yang terkandung di dalam bagas sorgum berdasarkan analisa ultimat ditunjukkan pada Tabel 2.1.

Di Amerika Utara, sorgum telah digunakan sebagai bahan baku produksi sirup selama lebih dari 100 tahun. Pada umumnya, cairan sorgum diekstraksi dari stem yang masih segar, kemudian bagian cairan dan ampas padatan (bagas) yang tersisa diproses secara terpisah. Cairan hasil ekstraksi sorgum manis dapat diproses lebih lanjut untuk dikonversi menjadi produk yang memiliki nilai tambah (*added value*). Salah satu contohnya adalah dalam pembuatan gula putih. Selain sebagai bahan baku pembuatan gula putih, cairan sorgum juga dapat digunakan untuk memproduksi bioetanol. Hal ini disebabkan oleh kandungan gula yang terkandung pada sorgum manis (Sipos B *et al.*, 2008).

Tabel 1 Hasil analisis ultimat bagas sorgum manis

Komponen kimia	Persentase
<i>Fixed carbon</i>	16.6%
Karbon	35.5%
Hidrogen	6.7%
Nitrogen	0.98%
Sulfur	0.11%
Klorin	5400 ppm
Abu	7%
Zat terbang	65.5 %

(Sumber: Mutepe, 2012)

Ampas padatan (bagas) sorgum memiliki cukup banyak kegunaan diantaranya sebagai pakan hewan dan juga sebagai pupuk kompos. Selain sebagai pakan dan pupuk, bagas sorgum juga digunakan secara langsung untuk menghasilkan energi melalui proses pembakaran. Namun masalah utama yang timbul dari proses pembakaran biomassa secara langsung adalah tingginya kandungan debu yang dihasilkan, sehingga hal ini dapat menyebabkan terjadinya korosi dan kerak di ruang pembakaran yang tentu efek jangka panjangnya akan merugikan. Beberapa alternatif lain pemanfaatan bagas sorgum yakni sebagai bahan baku industri pembuatan kertas serta yang saat ini dinilai menjanjikan yaitu sebagai bahan baku material lignoselulosa untuk pembuatan bioetanol (Sipos *et al.*, 2008).

a) Selulosa

Selulosa, polimer glukosa, merupakan komponen utama biomassa lignoselulosa yang dapat dihidrolisis menjadi monomer glukosa untuk konversi bahan bakar nabati. Selulosa merupakan polimer linear dari unit-unit glukosa yang dihubungkan dengan ikatan $-(1,4)$ -glikosidik. Derajat polimerisasi komponen ini bervariasi dari 300 hingga 15000. Ikatan hidrogen intra- dan inter-molekular pada

struktur selulosa membentuk daerah kristalin yang menghambat akses enzim selama proses hidrolisis. Rantai polimer lurus ini membentuk lembaran-lembaran yang disebabkan oleh ikatan hidrogen yang kuat (Palmqvist, 2014). Agregat dari lembaran ini membentuk *microfibril*, sekitar 300-100 rantai polimer, yang mengandung daerah *crystalline* dan amorf. *Microfibril* tersebut kemudian akan membentuk fibril dan pada akhirnya akan membentuk serat selulosa (Palmqvist, 2014). Selulosa yang terkandung di dalam bagas sorgum kering sebesar 32.3% (Mutepe, 2012).

Selulosa merupakan material higroskopis yang mampu menyerap 8-14% air pada kondisi normal atmosferik (20 °C, 60% humiditas relatif). Selulosa larut dalam air dan larutan asam encer pada temperatur rendah. Selulosa juga dapat larut dalam larutan asam pekat akan tetapi dapat menyebabkan degradasi polimer selulosa. Selulosa tidak meleleh karena temperatur akan tetapi mengalami dekomposisi yakni pada temperatur 180 °C (Harmsen *et al.*, 2010).

b) Hemiselulosa

Hemiselulosa merupakan polisakarida terbesar kedua yang terkandung di dalam biomassa lignoselulosa. Komponen tersebut berikatan dengan lignin melalui ikatan kovalen. Berbeda dengan selulosa yang merupakan polisakarida homogen, hemiselulosa merupakan polisakarida heterogen yang tersusun atas polimer pentosa (*xylose* dan *arabinose*), heksosa (glukosa, galaktosa dan mannose) dan asam gula seperti asam D-glukuronat, asam 4-O-metil-D-glukuronat dan asam D-galakturonat. Derajat polimerisasi hemiselulosa pada umumnya berkisar 200. Komposisi dan struktur hemiselulosa bervariasi tergantung pada spesiesnya. *Xylan* merupakan komponen utama hemiselulosa pada rumput-rumputan dan *hardwood*, sementara glukomannan merupakan komponen hemiselulosa yang dominan terdapat pada *softwood*. Bagas sorgum yang telah dikeringkan memiliki kandungan hemiselulosa mencapai 21.2% (Mutepe, 2012). Hemiselulosa merupakan komponen amorf dan hidrofilik sehingga hidrolisis komponen ini dapat dilakukan dengan mudah melalui perlakuan kimia dan hidrolisis enzimatis. Hemiselulosa dapat larut dalam air pada temperatur rendah. Hidrolisis polimer ini dimulai pada temperatur yang lebih rendah dibandingkan dengan selulosa. Kehadiran asam dapat meningkatkan solubilitas hemiselulosa di dalam air. Aspek penting dari struktur dan komposisi

hemiselulosa adalah kurangnya struktur kristalin, yang umumnya disebabkan oleh struktur cabang yang banyak dan kehadiran gugus asetil yang terhubung dengan rantai polimer (Harmsen *et al.*, 2010).

c) Lignin

Lignin merupakan senyawa polimer hidrofobik yang tersusun dari unit-unit *phenylpropane*. Komponen ini mengisi ruang di antara selulosa, hemiselulosa, dan pectin pada dinding sel. Karbohidrat (hemiselulosa dan selulosa) dan lignin terikat secara kovalen membentuk kompleks lignin-hemiselulosa. Pada proses hidrolisis, lignin merupakan komponen yang menghalangi terjadinya kontak langsung antara enzim dengan struktur selulosa. Hal itu disebabkan karena posisi lignin pada dinding sel tumbuhan mengelilingi matriks selulosa dan hemiselulosa sehingga terdapat *barrier* di antara enzim dengan selulosa maupun hemiselulosa. Kandungan lignin yang terdapat pada bagas sorgum yang telah dikeringkan sebesar 8.3% (Mutepe, 2012).

Senyawa kimia yang kerap ditemukan pada struktur lignin adalah *p-coumaryl alcohol*, *coniferyl alcohol* dan *sinapyl alcohol*. Pada tumbuhan tingkat tinggi, khususnya pada tumbuhan gymnospermae (*softwood*), kandungan *coniferyl alcohol*-nya mencapai 90% dan sisanya merupakan unit alkohol *p-coumaryl*. Berbeda dengan *softwood*, *hardwood* memiliki kandungan senyawa kimia pada lignin yang lebih variatif (Harmsen *et al.*, 2010). Lignin memegang peranan penting dalam ketahanan dan perkembangan sel karena komponen ini memengaruhi transportasi air, nutrisi, dan metabolit di dalam sel tumbuhan (Harmsen *et al.*, 2010).

d) Abu

Abu merupakan konten pada biomassa yang tidak dapat terbakar. Kandungan abu yang tinggi bisa berdampak pada terjadinya *fouling*. Bahan bakar biomassa khususnya dari tumbuhan atau residu hasil pertanian cenderung memiliki kadar abu yang tinggi. Tanaman agrikultur memiliki kandungan abu sekitar 3% atau lebih tinggi. Abu memiliki karakteristik yaitu meleleh pada temperatur yang lebih rendah (Clarke S, 2011).

Pretreatment Bahan Baku

a) Steam Explosion

Metode *steam explosion* (uap panas) adalah metode yang cukup dikenal sebagai proses pengolahan awal material lignoselulosa. Pada metode ini, potongan-potongan biomassa

diberi perlakuan dengan melewati uap jenuh bertekanan tinggi dan kemudian tekanan diturunkan dengan cepat sehingga material lignoselulosa mengalami dekomposisi eksplosif. *Steam explosion* pada umumnya diinisiasi pada temperatur 160-260 °C (tekanan 0,69-4,83 MPa) selama beberapa detik hingga beberapa menit sebelum material ditempatkan pada tekanan atmosfer. Proses ini menyebabkan terjadinya degradasi hemiselulosa dan transformasi lignin disebabkan oleh temperatur tinggi sehingga meningkatkan potensi hidrolisis selulosa. Berdasarkan penelitian terdahulu, efisiensi hidrolisis sebesar 90% dapat diperoleh dalam 24 jam pada potongan poplar yang diolah dengan metode *steam explosion*. Hal ini jauh lebih besar bila dibandingkan dengan efisiensi hidrolisis pada potongan poplar tanpa perlakuan awal yang hanya mencapai 15%. Faktor-faktor yang memengaruhi proses *steam explosion* adalah waktu tinggal, temperatur, ukuran bahan, dan kelembaban. *Steam explosion* juga membantuproses *fibre fraction*, sehingga memudahkan polimer biomassa untuk diolah ke proses selanjutnya. Dalam *steam explosion pretreatment*, terdapat alat-alat yang digunakan untuk memproses biomassa. Tempat awal biomassa yang telah direduksi ukurannya dipertemukan dengan steam bernama *reactor chamber*. *Reactor chamber* ini berfungsi sebagai tempat dimana biomassa diberi steam dalam keadaan vakum atau hampa udara. Keluaran dari *reactor chamber* berupa biomassa yang mengandung uap air didalamnya. Setelah waktu yang ditentukan, campuran akan didekompresi keluar menuju ke *cyclone* melalui *connecting pipe* untuk memisahkan campuran dengan gas sisa yang akan terbuang melalui ventilasi yang terdapat pada *cyclone*. Keluaran dari *cyclone* berupa *slurry* yang akan ditampung pada *collection bin*. *Slurry* yang telah tertampung kemudian diproses lebih lanjut.

Hidrolisis

a) *Enzymatic Hydrolysis*

Hidrolisis enzimatik adalah proses pengubahan selulosa menjadi gula sehingga menghasilkan senyawa rantai karbon yang lebih pendek seperti glukosa. Proses ini dilakukan dengan bantuan enzim selulase yang bekerja secara spesifik. Hidrolisis enzimatik biasanya dilakukan pada kondisi pH 4.8 dan temperatur 45-50 °C. Baik bakteri maupun jamur dapat memproduksi selulase untuk menghidrolisis material lignoselulosa. Organisme-organisme tersebut dapat bersifat anaerob atau aerob, dan mesofilik atau termofilik. Bakteri-bakteri seperti *Clostridium*, *Cellulomonas*, *Bacillus*,

Thermomonospora, *Ruminococcus*, *Bacteriodes*, *Erwinia*, *Acetovibrio*, *Microbispora*, dan *Streptomyces* umumnya dapat memproduksi selulase. Selain bakteri, fungi juga sering digunakan untuk memproduksi enzim selulase. Bahkan bila dibandingkan dengan bakteri, jumlah enzim selulase yang dihasilkan oleh fungi lebih besar.

Faktor-faktor yang memengaruhi proses hidrolisis enzimatik selulosa meliputi substrat, aktivitas selulase, dan kondisi reaksi (temperatur, pH, dan parameter lainnya). Untuk meningkatkan *yield* dan kecepatan hidrolisis, penelitian-penelitian terdahulu berfokus pada optimasi proses hidrolisis dan meningkatkan aktivitas selulase.

Hidrolisis enzimatik merupakan proses yang menarik dari segi penggunaan energi karena dapat dilakukan pada temperatur yang rendah dan dapat menghasilkan perolehan glukosa hingga 70%. Akan tetapi, hidrolisis enzimatik memiliki kelemahan pada harga enzim komersial yang cukup tinggi.

Penelitian Terdahulu

Produksi bioetanol secara konvensional melalui penggunaan bahan baku generasi pertama telah dikritisi sejak lama karena dinilai telah menyebabkan terjadinya persaingan antara kebutuhan pangan dan kebutuhan sumber bahan bakar nabati (Palmqvist, 2014). Berdasarkan hal tersebut maka pengembangan penelitian bioetanol di berbagai dunia mulai beralih ke sumber alternatif lain yakni biomassa lignoselulosa.

Penelitian mengenai konversi bahan lignoselulosa menjadi bioetanol telah dilakukan secara ekstensif selama dua dekade terakhir (Cheng, 2001). Berbagai macam jenis biomassa telah diuji baik dalam skala laboratorium maupun skala *pilot plant* untuk menghasilkan bioetanol dengan kadar yang tinggi. Penelitian terdahulu mengenai pembuatan bioetanol dari bagas sorgum juga pada umumnya berfokus pada bagaimana memperoleh *yield* glukosa dan etanol yang tinggi. Berbagai teknik maupun metode telah dilakukan untuk mencapai tujuan tersebut. Pendekatan yang telah dilakukan selama ini oleh peneliti-peneliti terdahulu untuk mencapai tujuan tersebut ialah melalui penerapan metode *pretreatment* biomassa yang tepat dan efektif. Salah satu metode *pretreatment* yang telah digunakan secara luas untuk mengolah biomassa lignoselulosa yakni *steam pretreatment*.

Steam pretreatment, seperti yang telah dijelaskan pada sub-bab 2.2 pada tinjauan pustaka, dipengaruhi oleh temperatur serta

waktu tinggal operasinya. Pada penelitian sebelumnya, pengaruh temperatur dan waktu tinggal *steam explosion* terhadap kadar gula dan bioetanol diteliti dengan menggunakan selisih intervaltemperatur serta waktu tinggal operasi pada sampel satu dengan yang lainnya berbeda sehingga dinilai mengurangi keabsahan hasil yang diperoleh. Pada penelitian sebelumnya metode *steam pretreatment* dilakukan dengan menambahkan zat impregnasi yang bersifat asam seperti H_2SO_4 . Penambahan zat tersebut diklaim dapat menyebabkan terjadinya korosi pada *reactor chamber* jika digunakan secara terus menerus pada skala komersil. Oleh karena itu pada penelitian kali ini, temperatur dan waktu tinggal pada *steam explosion* dibuat bervariasi pada interval yang sama serta tidak ditambahkan zat impregnasi zat H_2SO_4 .

2. METODOLOGI PENELITIAN

Waktu Dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Mei hingga Juli 2015 di Pusat Penelitian Kimia LIPI Serpong.

Variabel Yang Diteliti

Variabel tetap: Rasio feed (w:v) yang masuk ke Reaktor *Steam Explosion Bench Scale*, tekananoperasi.

Variabel berubah terdiri dari temperatur reaksi dan waktu tinggal

Bahan Dan Peralatan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

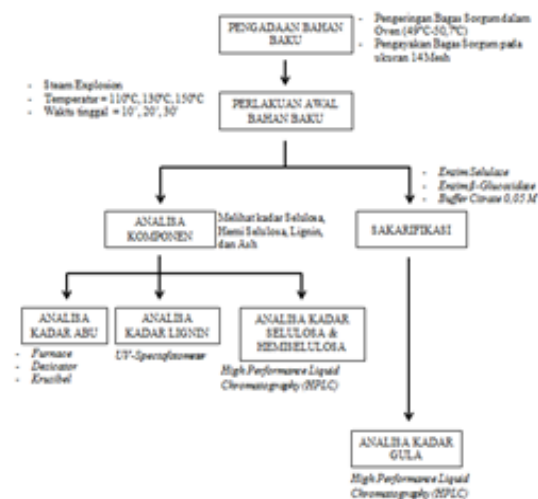
- 1) Bagas Sorgum
- 2) Enzim selulase
- 3) Enzim glukosidase
- 4) -Selulosa
- 5) Air
- 6) Akuades
- 7) Water Up atau RO
- 8) H_2SO_4 72%
- 9) H_2SO_4 4%
- 10) NaOH 10%
- 11) $CaCO_3$
- 12) Larutan buffer sitrat 0,05 M

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

- 1) *A Steam Explosion Bench Scale*
- 2) *Hydraulic Press*
- 3) *Sieve 14 Mesh*
- 4) Oven
- 5) Selang
- 6) Ember
- 7) *Syringe*
- 8) *Membrane Filter*

- 9) Gelas Beaker
- 10) Pipet Volumetrik
- 11) Gelas Ukur
- 12) Kantong Plastik
- 13) *High-Performance Liquid Chromatography*
- 14) *Moisture Analyzer*
- 15) *UV Spectrophotometer*
- 16) *Wise Term (Heater)*
- 17) Tabung reaksi
- 18) Cawan petri
- 19) Neraca digital
- 20) Spatula
- 21) Pinset
- 22) Botol Scott
- 23) *Vacuum Filter*
- 24) *Filter paper glucose*
- 25) Botol kaca
- 26) *Rak tabung reaksi*
- 27) *Furnace*
- 28) Desikator
- 29) Krusibel
- 30) Kuas
- 31) Vial kaca
- 32) Vial plastik
- 33) *Autoclave*
- 34) *Aluminium foil*
- 35) Kapas
- 36) Lemari Laminer
- 37) Inkubator
- 38) *Shaker*

Prosedur Penelitian



Gambar 1. Diagram alirpenelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penilaian Perlakuan Awal

Nilai *severity factor* yang menggambarkan tingkat kekerasan kondisi perlakuan awal biomassa ditunjukkan pada Tabel 2. di bawah ini.

Tabel 2. Data *severity factor*

Kondisi <i>Pretreatment</i>		Log(R _o)
Temperatur (°C)	Waktu (menit)	
110	10	1.29
110	20	1.59
110	30	1.77
130	10	1.88
130	20	2.18
130	30	2.36
150	10	2.47
150	20	2.77
150	30	2.94

Nilai Log(R_o) pada Tabel 2 merupakan fungsi temperatur dan waktu yang diformulasikan dalam bentuk persamaan yang terlampir, Semakin tinggi temperatur dan waktu perakuan awal akan semakin besar tingkat *severity*-nya. Kondisi perlakuan awal bagas sorgum pada temperatur 150°C dan waktu tinggal 30 menit memiliki tingkat *severity* tertinggi.

Sebanyak 250 gram bagas sorgum untuk setiap sampel yang dimasukkan ke dalam reaktor *bench scale* menghasilkan residu padatan dengan persentase rendemen seperti ditunjukkan pada Tabel 3 di bawah ini.

Tabel 3. Rendemen hasil *pretreatment*

Kondisi <i>Pretreatment</i>		Rendemen (%)
Temperatur (°C)	Waktu (menit)	
110	10	39.89
110	20	40.28
110	30	58.59
130	10	46.28
130	20	40.26
130	30	44.33
150	10	38.22
150	20	51.44
150	30	34.44

Persentase rendemen residu yang dihasilkan pada tabel di atas menunjukkan angka yang bervariasi dimana nilai terkecilnya yaitu 34,44% pada temperatur 150 °C dan waktu 30 menit sementara nilai terbesarnya yaitu pada temperatur 110 °C dan waktu 30 menit dengan persentase rendemen sebesar 58,59%. Nilai rendemen yang bervariasi

disebabkan oleh adanya sebagian residu solid yang tertinggal di dalam reaktor *Steam Explosion Bench Scale* serta menempel pada karung filter pada saat pengepresan dalam jumlah yang tidak seragam sehingga massa keluar (*residu solid*) dari tiap kondisi berbeda-beda.

Pengaruh Variasi Temperatur dan Waktu Perlakuan Awal terhadap Kadar Komponen Gula, Lignin dan Abu

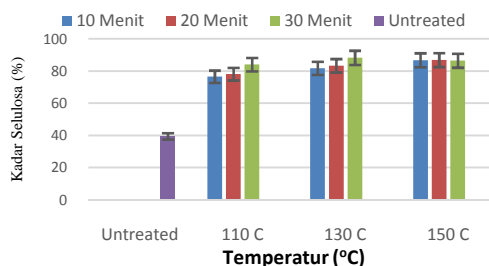
Perbandingan kadar komponen hasil *pretreatment* bagas sorgum pada tiap sampel bahan baku bagas sorgum (*untreated*) ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Data analisa komponen bagas sorgum

Sampel	Selulosa (%)	Hemiselulosa (%)	Lignin (%)	Abu (%)
<i>Untreated</i>	39.48	16.56	24.76	4.23
110 C, 10'	76.52	10.03	8.60	0.15
110 C, 20'	78.06	9.94	8.30	0.31
110 C, 30'	84.02	9.93	8.08	0.28
130 C, 10'	81.75	8.87	6.15	0.24
130 C, 20'	83.31	9.36	6.10	0.37
130 C, 30'	88.25	8.56	5.45	0.55
150 C, 10'	86.72	7.37	3.76	0.24
150 C, 20'	86.84	7.45	3.50	0.51
150 C, 30'	86.44	7.49	3.48	0.53

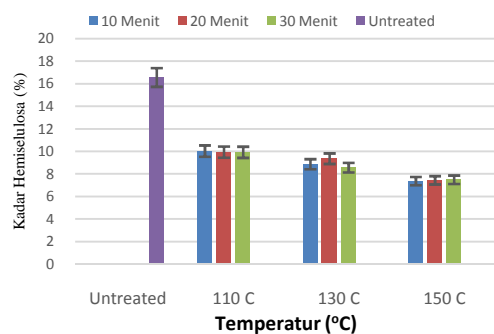
Berdasarkan data di atas, kadar masing-masing komponen untuk tiap variasi temperatur dan waktu menunjukkan kecenderungan yang berbeda-beda.

Data komparasi komponen selulosa sebelum dan setelah *pretreatment* ditampilkan pada Gambar 2 dibawah ini.

**Gambar 2.** Gambar Komponen Selulosa Sebelum dan Setelah *Pretreatment*

Bagas sorgum yang belum diberikan perlakuan awal (*untreated*) mengalami kenaikan kadar selulosa yang signifikan setelah melewati proses *pretreatment*. Kadar selulosa tertinggi diperoleh pada sampel dengan temperatur 130 °C dan waktu 30 menit. Sementara kadar selulosa terendah terdapat pada sampel dengan temperatur 110 °C dan waktu 10 menit. Delignifikasi yang terjadi selama *steam explosion* berlangsung menyebabkan hancurnya struktur rigid lignin yang menyelimuti komponen selulosa sehingga jumlah selulosa yang dapat diakses untuk tahap selanjutnya meningkat. Selulosa merupakan senyawa polimer yang memiliki ikatan hidrogen antar molekulnya serta derajat polimerisasi yang tinggi berkisar antara 800-10000 unit (Harmsen, 2010). Adanya ikatan hidrogen serta derajat polimerisasi yang tinggi menyebabkan selulosa sukar untuk dipecah. Untuk memecah selulosa dibutuhkan energi atau suhu yang tinggi. Pada suhu 110 °C dan 130 °C selulosa belum terdepolimerisasi. Depolimerisasi selulosa mulai terjadi secara perlahan setelah temperatur perlakuan awal mencapai 150°C. Hal ini menyebabkan titik optimum kadar selulosa dicapai pada temperatur perlakuan awal 130°C dan waktu tinggal 30 menit.

Data komponen hemiselulosa untuk berbagai variasi temperatur dan waktu digambarkan pada Gambar 3 sebagai berikut.

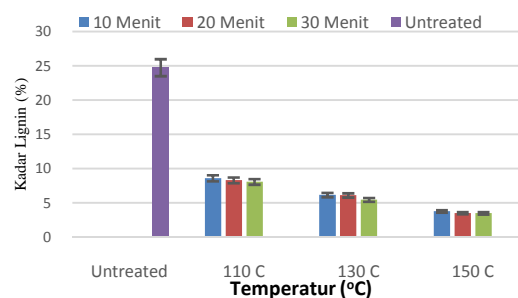


Gambar 3. Data Komponen Hemiselulosa Sebelum dan Setelah *Pretreatment*

Dari Gambar 3 terlihat bahwa perlakuan awal menyebabkan terjadinya penurunan kadar hemiselulosa. Untuk waktu tinggal yang sama, semakin tinggi temperatur perlakuan awal maka semakin rendah kadar hemiselulosa yang diperoleh. Hal ini disebabkan karena selama *steam explosion* berlangsung, xylan (salah satu komponen penyusun hemiselulosa) terdepolimerisasi menjadi *xylose*, lalu kemudian terdehidrasi menjadi *purfural* (Vivekanand *et al*, 2014). Sementara gula heksosa yang terkandung

dalam hemiselulosa terdegradasi menjadi senyawa beracun hidroksimetil-furfural (Harmsen, 2010). Semakin tinggi tingkat *severity* maka semakin rendah kadar xylan sehingga kadar hemiselulosa yang diperoleh juga semakin berkurang (Vivekanand *et al*, 2014). Tingkat *severity* yang ditunjukkan oleh nilai *severity factor* pada perlakuan awal *steam explosion* ditunjukkan pada Tabel 4. Berdasarkan tabel tersebut terlihat bahwa kenaikan temperatur menyebabkan kenaikan *severity*. Berdasarkan hal tersebut, merujuk pada pernyataan Vivekanand sebelumnya, maka dapat disimpulkan bahwa kenaikan temperatur menyebabkan terjadinya penurunan kadar hemiselulosa.

Jika ditinjau dari kadar ligninnya, pengaruh temperatur dan waktu *pretreatment* terhadap kadar lignin dapat ditunjukkan pada Gambar 4 dibawah ini.



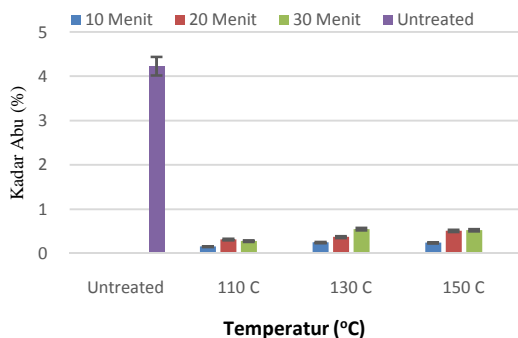
Gambar 4. Komponen Lignin Sebelum dan Setelah *Pretreatment*

Pada gambar di atas terjadi penurunan kadar lignin secara signifikan dari kadar lignin semula. Penurunan kadar lignin terbesar terjadi pada temperatur 150 C dan dalam waktu 30 menit. Pada setiap variasi temperatur, semakin lama waktu *pretreatment* berlangsung maka semakin rendah kadar lignin yang tersisa. Hal ini disebabkan karena semakin lama waktu tinggal biomassa tersebut di dalam reaktor maka akan semakin lama pula kontak antara *steam* dengan biomassa sehingga struktur rigid lignin pada biomassa tersebut dapat terurai lebih banyak.

Untuk waktu tinggal yang sama, semakin tinggi temperatur perlakuan awal maka semakin banyak lignin yang terdepolimerisasi. Hal ini disebabkan karena pada peningkatan temperatur, terjadi *thermal softening* pada polimer lignin yang menyebabkan kecepatan depolimerisasi lignin di lingkungan asam atau basa meningkat (Harmsen, 2010).

Perbandingan kadar abu untuk masing-masing variasi temperatur dan waktu ditunjukkan pada Gambar 5 di bawah ini. Kadar

abu untuk setiap sampel mengalami penurunan yang sangat signifikan ditinjau dari kadar abu mula-mula (*untreated*).



Gambar 5. Komponen Abu Sebelum dan Setelah *Pretreatment*

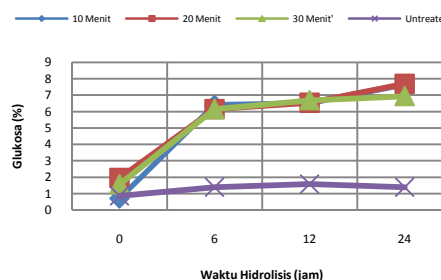
Kadar abu untuk setiap sampel mengalami penurunan secara drastis dari kadar abu mula-mula (*untreated*). Dari gambar di atas, persentase abu terendah yaitu pada sampel dengan temperatur 110 °C dan waktu 10 menit dengan total kadar abu sebesar 0.15% dari kadar abu mula-mula 4.23%. Untuk waktu yang sama, secara garis besar diperoleh kecenderungan dimana semakin tinggi temperatur perlakuan awal maka semakin tinggi pula kadar abunya. Kadar abu dipengaruhi oleh banyaknya komponen yang terdegradasi sehingga semakin banyak komponen yang terdegradasi pada saat perlakuan awal maka kadar abu yang dihasilkan akan semakin besar. Semakin tinggi temperatur operasi perlakuan awal maka semakin banyak komponen yang terdegradasi dan menghasilkan produk anorganik yang apabila dibakar menjadi abu. Pada tiap temperatur perlakuan awal, secara garis besar terjadi kecenderungan dimana semakin lama waktu perlakuan awal berlangsung maka semakin banyak kadar abu yang dihasilkan. Hal ini disebabkan karena semakin lama waktu operasi berlangsung maka semakin banyak senyawa yang terdegradasi sehingga menghasilkan lebih banyak produk anorganik yang bila dibakar menjadi abu.

Pengaruh Variasi Temperatur dan Waktu Pretreatment terhadap Kadar Glukosa pada Proses Hidrolisis Enzimatis

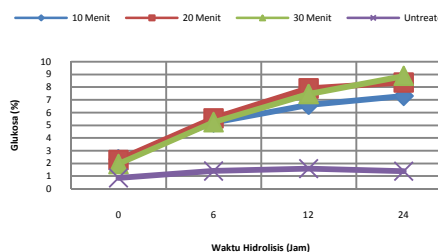
Gambar 6 menunjukkan kadar glukosa yang dihasilkan selama proses hidrolisis enzimatis untuk sampel dengan temperatur 110 °C dan tiga variasi waktu perlakuan awalyaitu 10 menit, 20 menit dan 30 menit.

Glukosa yang dihasilkan pada ketiga sampel tersebut memiliki kadar yang relatif hampir sama antara satu dengan yang lainnya.

Hal ini terutama terlihat pada waktu hidrolisis 6 dan 12 jam.



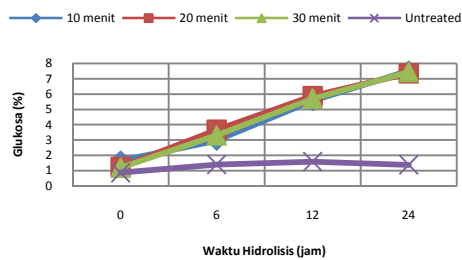
Gambar 6. Kadar Glukosa (%) setelah Hidrolisis untuk Sampel 110 °C



Gambar 7. Kadar Glukosa (%) setelah Hidrolisis untuk Sampel 130 °C

Gambar 7 menunjukkan data persentase glukosa per interval waktu sakarifikasi untuk sampel 130 °C dengan tiga variasi waktu yakni 10 menit, 20 menit, dan 30 menit. Dari ketiga variasi tersebut, data persentase glukosa terbesar ditunjukkan pada sampel dengan temperatur perlakuan awal 130 °C dan waktu tinggal 30 menit yaitu sebesar 8,87%. Hal ini disebabkan karena kadar selulosa setelah *pretreatment* pada sampel tersebut adalah yang tertinggi diantara sampel lainnya. Semakin banyak selulosa dan hemiselulosa yang dapat diakses oleh enzim untuk dihidrolisis maka akan semakin banyak pula glukosa yang dihasilkan.

Garis yang ditandai dengan simbol silang pada Gambar 7 merupakan data kadar glukosa yang dihasilkan selama hidrolisis untuk bahan baku yang belum diberi perlakuan awal (*untreated material*). Terlihat jelas bahwa terjadi perbedaan yang signifikan antara hidrolisis bahan baku yang sudah dipretreatment dengan hidrolisis bahan baku tanpa praperlakuan dimana persentase glukosa yang dihasilkan bahan baku tanpa praperlakuan jauh lebih rendah dibanding bahan baku dengan perlakuan awal.



Gambar 8. Kadar Glukosa (%) setelah Hidrolisis untuk Sampel 150 °C

Gambar 8 memperlihatkan hasil hidrolisis sampel untuk temperatur 150 °C dengan variasi waktu 10, 20, dan 30 menit. Kadar glukosa yang dihasilkan untuk ketiga sampel tersebut relatif sama satu dengan yang lainnya. Hal tersebut menunjukkan bahwa pada suhu 150 °C, waktu tinggal tidak memengaruhi kadar glukosa yang diperoleh.

Berdasarkan ketiga gambar diatas, dapat dilihat bahwa kadar glukosa tertinggi diperoleh pada variabel temperatur perlakuan awal 130 C dan dalam waktu 30 menit. Hal ini disebabkan karena selulosa yang terkandung di dalamnya memiliki kadar tertinggi bila dibandingkan dengan sampel lainnya. Faktor yang juga berpengaruh terhadap keberhasilan proses hidrolisis adalah keberadaan senyawa-senyawa inhibitor pada sampel yang hendak dihidrolisis. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, komponen hemiselulosa dan lignin terdekomposisi menghasilkan senyawa-senyawa inhibitor. Senyawa inhibitor yang dihasilkan dari hemiselulosa adalah furfural dan hidroksimetil-furfural sedangkan senyawa inhibitor yang diproduksi dari lignin adalah senyawa *phenolic* (Harmsen, 2010). Semakin banyak hemiselulosa dan lignin yang terdekomposisi maka semakin banyak pula senyawa inhibitor yang dihasilkan. Semakin banyak inhibitor pada bagas sorgum *pretreated* maka akan semakin terganggu proses hidrolisisnya yang berakibat pada semakin rendahnya kadar glukosa yang diperoleh

4. KESIMPULAN

1. Temperatur perlakuan awal mempengaruhi komposisi komponen selulosa, hemiselulosa lignin dan abu. Untuk komponen selulosa temperatur berpengaruh terhadap kadar selulosa yang dihasilkan dimana kadar maksimum diperoleh pada temperatur perlakuan awal 130 C dan waktu 30 menit. Semakin tinggi temperatur

perlakuan awal maka semakin kecil kadar hemiselulosa dan lignin yang terkandung di dalamnya. Pada waktu yang konstan, kadar abu meningkat seiring peningkatan temperatur *pretreatment*. Pada proses sakarifikasi, temperatur perlakuan awal mempengaruhi kadar glukosa yang dihasilkan dimana kadar glukosa maksimum diperoleh pada sampel dengan temperatur perlakuan awal 130 C dan waktu 30 menit.

2. Waktu tinggal mempengaruhi kadar komponen selulosa, lignin dan abu. Semakin lama waktu perlakuan awal maka kadar selulosa dan abu yang dihasilkan semakin banyak. Semakin lama waktu perlakuan awal maka semakin sedikit kadar lignin yang tersisa. Variasi waktu tinggal pada temperatur perlakuan awal yang sama cenderung tidak memengaruhi kadar hemiselulosa yang dihasilkan. Pada proses sakarifikasi, variasi waktu tinggal perlakuan awal secara keseluruhan cenderung tidak memberikan efek signifikan terhadap kadar glukosa yang dihasilkan.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. (2012) *Kajian Supply Demand Energy*. Pusat data dan informasi energi dan sumber daya mineral kementerian ESDM. p. 19-24
- Clark, S. (2011) *Biomass Burn Characteristics*. [Online] <http://www.omafra.gov.on.ca/english/engineer/facts/11-033.htm>. Diaakses pada 30 November 2015.
- Harmsen P F H *et al.* (2010) *Literature Review of Physical and Chemical Pretreatment Processes for Lignocellulosic Biomass*. Food & Biobased Research. Energy Research Centre of the Netherlands. p. 8-12
- Mutepe R D (2012) *Ethanol Production from Sweet Sorghum*. Dissertation for Masters of Science in Chemical Engineering of the North-West University. p. 10-14
- Palmqvist B. (2014) *Processing lignocellulosic Biomass into ethanol*. Department of Chemical Engineering Lund University, Sweden. p. 1-10
- Sipos B *et al.* (2008) *Sweet Sorghum as Feedstock for Ethanol Production: Enzymatic Hydrolysis of Steam-Pretreated Bagasse*. Appl

- Biochem Biotechnol. (153). p. 151-162.
- Sipos B. (2010) *Conversion of Lignocellulosic to Fermentable Sugars for Ethanol Production*. Thesis Book of Budapest University of Technology and Economics.
- Subagio H dan Aqil M. (2013) *Pengembangan Produksi Sorgum di Indonesia*. Seminar Nasional Inovasi Taknologi Pertanian. p. 200-214
- Sun dan Cheng. (2001) *Hydrolysis of Lignocellulosic Materials for Ethanol Production: A Review*. Bioresource Technology. (83). p. 1-11