

PERBANDINGAN PROSES *PRETREATMENT* DEGRADASI LIGNIN JERAMI PADI DENGAN *WET MILLING* DAN *DRY MILLING* PADA PRODUKSI BIOETANOL

The Comparison of Paddy Straw Lignin Degradation Pretreatment Process Using Wet Milling and Dry milling in Bioethanol Production

Farisatun Ni'mah*, Bambang Dwi Argo, Musthofa Lutfi, Dewi Maya Maharani,
Angky Wahyu Putranto

Jurusan Keteknikan Pertanian - Fakultas Teknologi Pertanian - Universitas Brawijaya
Jl. Veteran, Malang 65145

*Penulis Korespondensi: email farisatun11@yahoo.com

ABSTRAK

Bioetanol merupakan salah satu alternatif pengganti bahan bakar fosil yang semakin menipis setiap tahunnya. Produksi bioetanol menggunakan bahan baku limbah yang mengandung selulosa seperti jerami padi, memerlukan perhatian khusus dalam proses *pretreatment* untuk mengkondisikan lignoselulosa baik dari segi struktur maupun ukuran dengan memecah dan mengurangi kandungan lignin dan hemiselulosa. Pada penelitian ini telah dilakukan degradasi jerami padi menggunakan *wet milling pretreatment* (WMP) dan metode *microwave*-NaOH dibandingkan dengan *dry milling pretreatment* (DMP) terhadap kandungan selulosa, hemiselulosa dan lignin. Hasil *pretreatment* jerami padi dengan DMP mempunyai peningkatan selulosa sebesar 42.32% dan penurunan lignin 4.2% sedangkan dengan WMP mempunyai peningkatan selulosa sebesar 6.42% dan penurunan lignin 1.09%. Berdasarkan hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa degradasi menggunakan WMP mempunyai kandungan selulosa, hemiselulosa dan lignin lebih rendah dibandingkan dengan DMP, dikarenakan ukuran dari mesh jerami padi mempengaruhi kandungan lignoselulosa. Semakin besar ukuran mesh jerami padi yang digunakan maka kandungan lignoselulosanya semakin kecil. Semakin besar ukuran mesh jerami padi yang digunakan maka kandungan lignoselulosanya semakin kecil.

Kata kunci: Bioetanol, Delignifikasi, *Pretreatment*, *Wet Milling*, Jerami Padi

ABSTRACT

Bioethanol is one alternative to fossil fuel substitutes depleting annually. Bioethanol production using waste material containing cellulose such as rice straw, require special attention in the process of pretreatment to customize the lignocellulose both in terms of structure and size to break up and reduce the content of lignin and hemicellulose. This research has been conducted on the degradation of rice straw using wet milling pretreatment (WMP) and microwave-NaOH method compared to the dry milling pretreatment (DMP) with respect to the content of cellulose, hemicellulose and lignin. The results of pretreatment with DMP has an increase cellulose of 42.32% and lignin reduction of 4.2% while the WMP have an increase cellulose of 6.42% and lignin reduction 1.09%. Based on these results it can be concluded that the degradation using WMP has a lower content of cellulose, hemicellulose and lignin compared to the DMP, since the size of the rice straw affect the mesh lignocellulose content. The larger mesh size of rice straw used, so the lignocellulose content is getting smaller.

Keywords: Bioethanol, Delignification, *Pretreatment*, *Wet Milling*, Rice Straw

PENDAHULUAN

Salah satu bentuk energi alternatif yang ramah lingkungan serta menjanjikan untuk digunakan di masa depan adalah bioetanol. Produksi bioetanol dapat menggunakan bahan baku limbah yang mengandung selulosa yang diantaranya adalah jerami padi. Dalam jerami padi terdapat kadar selulosa yang terdiri dari terdiri 37.71% selulosa, 21.99% hemiselulosa dan 16.62% lignin (Dewi, 2002). Potensi etanol dari jerami padi sebesar 0,28 L/kg jerami (Kim and Dale, 2004) atau 0.20 L/kg jerami (Badger, 2002).

Namun permasalahan yang dihadapi dalam proses pembuatan bioetanol dari jerami padi adalah selulosa dan lignin pada jerami yang sulit didegradasi. Salah satu cara untuk mengatasi hal tersebut adalah dengan melakukan *pretreatment* pada bahan baku. Proses *pretreatment* dilakukan untuk mengkondisikan bahan-bahan lignoselulosa baik dari segi struktur maupun ukuran dengan memecah dan mengurangi kandungan lignin dan hemiselulosa, merusak struktur kristal dari selulosa serta meningkatkan porositas bahan (Sun & Cheng, 2002). Proses *pretreatment* dan hidrolisis merupakan tahapan proses yang sangat penting dalam proses pembuatan bioetanol, karena dapat mempengaruhi banyaknya etanol yang didapatkan.

Proses *pretreatment* jerami padi untuk produksi bioetanol sebelumnya telah dilakukan dengan metode *dry milling* (Dehani dkk, 2013), namun dianggap masih kurang baik karena membutuhkan energi yang cukup besar, selain itu untuk produksi dalam skala besar tidak terlalu efisien dikarenakan harus menyeragamkan ukuran mesh tiap sampel, sedangkan pada penggilingan basah menggunakan blender dan air dianggap lebih efektif dan murah untuk produksi skala besar. Untuk itu pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode *wet milling*/ penggilingan basah. Pada penelitian *pretreatment* ini dilakukan perbandingan metode *microwave*-NaOH *pretreatment wet milling* dan *dry milling* untuk menyediakan bahan baku yang mudah dihidrolisis dengan kandungan nilai selulosa yang lebih tinggi untuk dikonversi menjadi bioetanol.

BAHAN DAN METODE

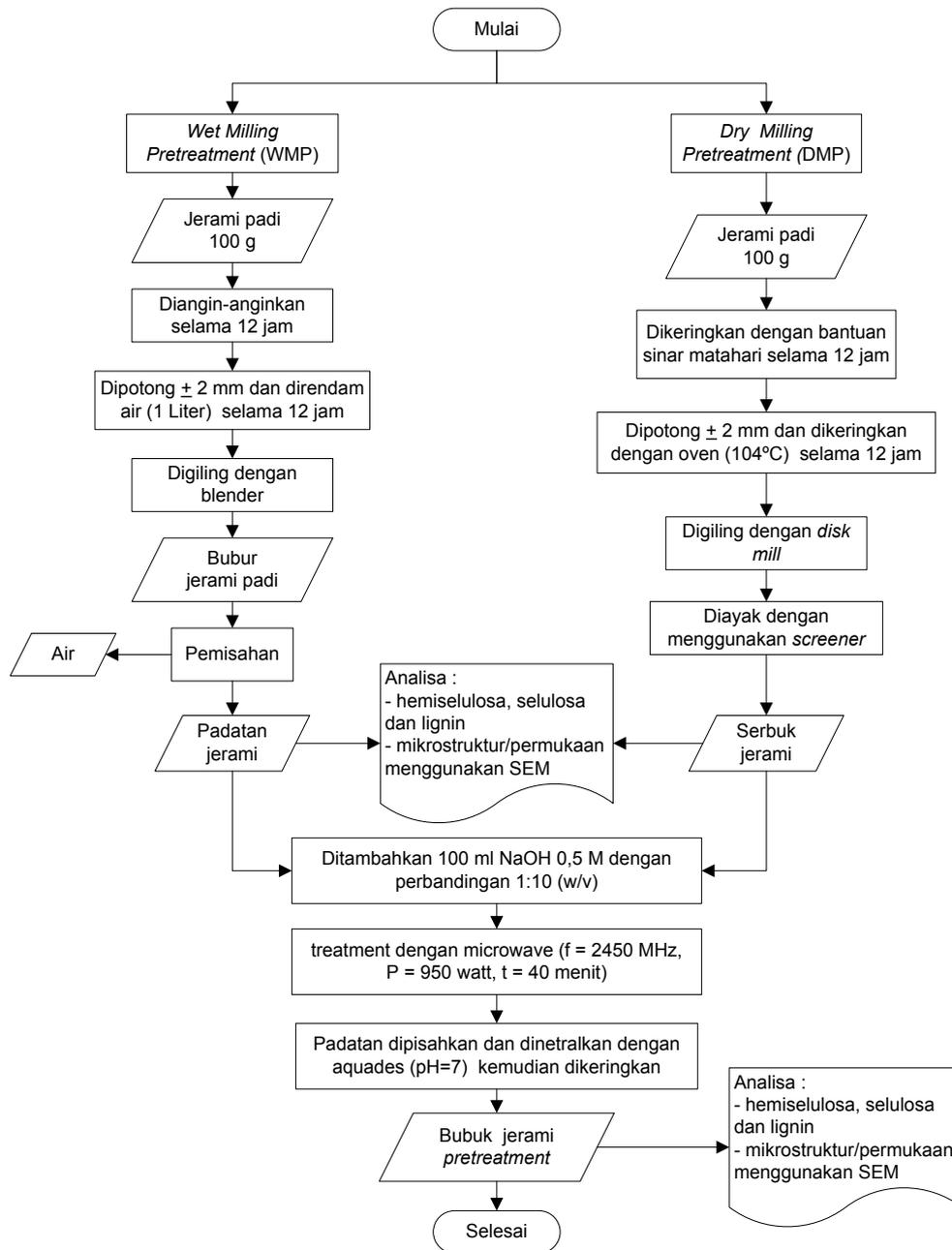
Alat dan Bahan

Alat yang digunakan pada penelitian ini antara lain blender, *microwave*, stopwatch, kaleng, pH meter SenseLine Plus F470, pH universal, timbangan digital, plastik klip, gelas ukur, erlenmeyer, oven, spatula, kertas saring, pompa *vacuum*. Sedangkan bahan yang digunakan antara lain larutan NaOH 0.5 M, aquades, dan bahan utama yaitu jerami padi sawah varietas *Ciherang* yang diperoleh dari daerah Landungsari Malang. Jerami padi diperoleh setelah 1 hari setelah panen. Varietas *Ciherang* dipilih karena varietas padi yang saat ini paling banyak ditanam oleh petani, ditanam pada musim hujan dan kemarau, serta memiliki bentuk batang yang padat berisi dan berukuran besar meskipun cenderung pendek.

Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode *wet milling pretreatment* (WMP) yaitu dengan melakukan pengecilan ukuran jerami padi menggunakan blender dan air. Jerami padi yang sudah halus kemudian diberikan pemberian NaOH 0.5 M dan waktu pemanasan menggunakan *microwave* yaitu 40 menit pada daya 950 watt dan frekuensi 2450 MHz. Padatan jerami padi setelah di blender dan setelah dilakukan *treatment microwave*-NaOH, masing-masing dilakukan analisis kandungan selulosa, hemiselulosa dan lignin pada jerami padi menggunakan metode *Chesson*. Selain itu, analisis mikrostruktur permukaan juga dilakukan untuk mengetahui permukaan jerami padi sebelum dan setelah *pretreatment* menggunakan foto mikrostruktur hasil dari *Scanning Electron Microscopy* (SEM).

Hasil WMP ini kemudian juga dibandingkan dengan metode *dry milling pretreatment* (DMP) (Dehani dkk, 2013) yang meliputi perbandingan kandungan lignoselulosa (selulosa, hemiselulosa dan lignin) padatan atau serbuk jerami (*treatment* penggilingan), perbandingan kandungan lignoselulosa bubuk jerami padi setelah setelah penambahan NaOH serta analisis energi yang dibutuhkan selama proses *pretreatment*. Diagram alir proses WMP dan DMP disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Proses *Wet Milling Pretreatment* dan *Dry Milling Pretreatment*

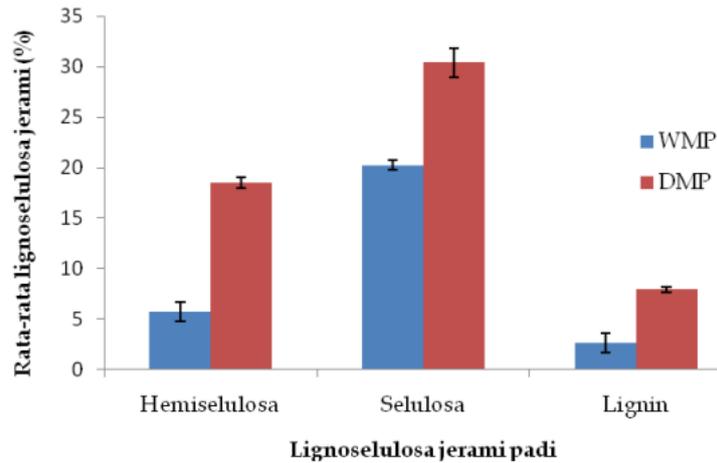
HASIL DAN PEMBAHASAN

Lignoselulosa Jerami Padi Setelah Proses Penggilingan

Hasil proses pengecilan ukuran (penggilingan) jerami padi menggunakan WMP dianalisis kandungan lignoselulosa meliputi hemiselulosa, selulosa, dan lignin menggunakan metode *Chesson*. Analisis ini dilakukan untuk mengetahui berapa banyak lignoselulosa yang dilepaskan pada jerami padi yang telah melalui proses penggilingan

menggunakan blender dan air (WMP). Hasil ini nantinya juga akan dibandingkan dengan DMP meliputi kandungan selulosa, hemiselulosa dan lignin jerami padi yang dapat dilihat pada Gambar 2.

Pada Gambar 2 tersebut, kandungan lignoselulosa (hemiselulosa, selulosa dan lignin) setelah melalui proses menggunakan metode WMP mempunyai hasil yang lebih rendah dibanding dengan DMP yang telah dilakukan Dehani, dkk (2013). Perbedaan yang cukup jauh ini diduga karena pada proses



Gambar 2. Perbandingan hasil lignoselulosa jerami padi hasil proses WMP dan DMP

perlakuan pengecilan ukuran menggunakan blender, air yang ditambahkan akan dengan mudah melarutkan kandungan lignoselulosa yang ada di dalam jerami padi. Hal ini sesuai dengan pendapat Oktaviani (2008) yang mengatakan bahwa perendaman jerami padi mengurangi kandungan lignoselulosa pada jerami padi.

Selain itu jerami padi WMP mempunyai ukuran yang tidak seragam dan cenderung lebih besar (berbentuk substrat) jika dibandingkan dengan ukuran jerami padi DMP yang menggunakan *disk mill* yang telah diayak (berbentuk bubuk jerami). Ukuran jerami yang tidak seragam ini akan mengakibatkan kandungan lignoselulosa yang ada di dalam jerami padi tidak dapat didegradasi dengan sempurna. Hal ini berkaitan dengan keseragaman pengecilan ukuran menggunakan *diskmill* yang dapat meningkatkan luas permukaan. Semakin kecil dan seragam ukuran, maka luas permukaan jerami semakin meningkat dan derajat kristalisasi selulosa semakin menurun. Menurunnya derajat kristalisasi berarti struktur kristal lignoselulosa banyak yang hancur akibat perlakuan mekanik dari pretreatment DMP. Struktur kristal lignoselulosa yang hancur akan melepaskan ikatan rantai antar molekul. Oleh karena itu kandungan lignoselulosa (selulosa, hemiselulosa dan lignin) pada metode DMP menjadi lebih tinggi ketika dilakukan analisis chesson dibandingkan dengan kandungan lignoselulosa dengan metode WMP.

Perbedaan yang cukup signifikan antara metode DMP dan WMP ini juga dikarenakan perbedaan lokasi penanaman padi tempat pengambilan sampel jerami.

Walaupun kedua metode menggunakan jenis jerami padi yang sama (Ciherang) dan metode analisis yang sama (Analisis Chesson), namun lokasi penanaman jerami yang berbeda juga akan menjadi pengaruh yang cukup besar untuk kandungan dari lignoselulosa awal dari jerami tersebut. Dimana padi yang digunakan pada DMP diperoleh dari daerah Pakis Aji Malang, sedangkan pada WMP diperoleh dari daerah Gresik.

Nilai hemiselulosa dan selulosa yang lebih rendah dibanding dengan proses DMP ini nanti yang akan mempengaruhi proses hidrolisis selanjutnya sehingga bioetanol yang dihasilkan juga menjadi sedikit. Namun, dalam hal lain kandungan lignin pada proses WMP juga lebih rendah daripada proses DMP. Lignin merupakan lapisan protektif pada struktur selulosa-hemiselulosa dan jaringan tanaman. Lignin berperan menghalangi proses hidrolisis selulosa, karena dengan adanya lignin sebagai pelindung selulosa terhadap serangan enzim pemecah selulosa (Kodri dkk, 2013). Penurunan kandungan lignin dalam jerami padi merupakan salah satu tujuan dari proses *pretreatment* jerami padi pada proses produksi bioetanol. Sehingga dengan menggunakan proses WMP nilai lignin yang lebih rendah akan lebih mudah didapatkan dibandingkan dari proses DMP.

Lignoselulosa Jerami Padi Setelah Perlakuan Microwave-NaOH

Tujuan utama proses perlakuan gelombang mikro pada microwave adalah untuk memecah struktur lignin yang kompleks menjadi struktur-struktur

penyusunnya yang lebih sederhana. Sehingga proses hidrolisis dan proses-proses selanjutnya untuk mendapatkan bioetanol akan lebih mudah terjadi. Interaksi microwave dengan bahan pada saat pretreatment, akan menghasilkan efek termal yang merupakan respon dari molekul polar dan ion untuk mengubah arah dari medan listrik yang dihasilkan oleh gelombang elektromagnetik pada frekuensi microwave. Molekul polar melurus diluar medan elektromagnetik, namun oscillating (gerakan bolak-balik) medan listrik dari radiasi microwave menyebabkan molekul polar bervibrasi dengan cepat sebagai akibat lignin yang melurus dalam medan listrik (Kodri, dkk., 2013; Dehani, dkk., 2013).

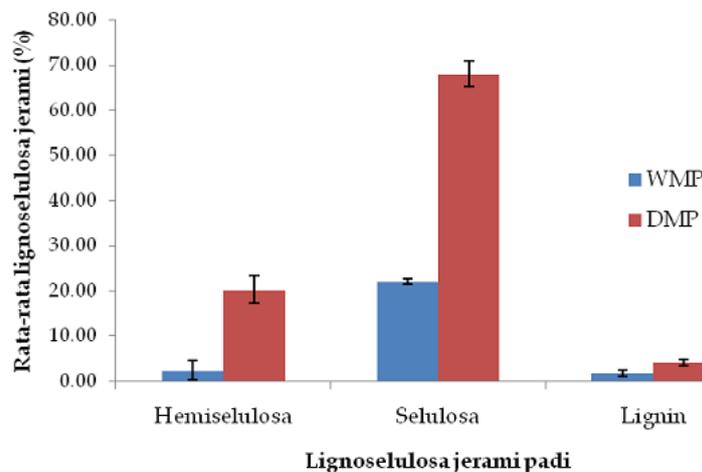
Penelitian pretreatment jerami padi dengan microwave telah dilakukan oleh beberapa sumber terdahulu. Namun untuk menggunakan metode wet milling belum pernah dilakukan sebelumnya. Penelitian Hidenó *et al.* (2012), yang membandingkan pretreatment dengan penggilingan basah dan kering pernah dilakukan, namun pengujiannya terhadap kandungan glukosa bukan pada lignoselulosa. Berikut ini adalah perbandingan hasil peningkatan kandungan selulosa dan penurunan kandungan lignin jerami padi wet milling dan dry milling dapat dilihat pada Gambar 3.

Pada Gambar 3 tersebut, kandungan lignoselulosa (hemiselulosa, selulosa dan lignin) setelah melalui proses treatment menggunakan microwave-NaOH ternyata metode WMP juga mempunyai hasil yang lebih rendah dibanding dengan metode DMP. Perbedaan yang cukup jauh ini diduga karena tahap sebelumnya yaitu pada tahap

penggilingan menggunakan blender dan air, kandungan lignoselulosa (selulosa, hemiselulosa dan lignin) sendiri mempunyai hasil yang jauh lebih kecil dibandingkan dengan metode DMP, sehingga dengan hasil yang rendah ketika dilakukan pada tahap selanjutnya juga akan memiliki nilai yang rendah juga.

Pada larutan jerami padi yang mengandung basa kuat (NaOH), energi dapat disebar melalui konduksi ionik yang menyebabkan pemanasan atau superheating solven. Pemanasan gelombang mikro meningkat untuk cairan ataupun padatan yang dapat mengubah energi elektromagnetik menjadi panas. Efek panas berasal dari medan listrik gelombang mikro yang memaksa dipol untuk berputar dan ion untuk berpindah dari respon lambat mengikuti medan listrik yang cepat. Proses interaksi gelombang mikro dengan bahan ini mengakibatkan kandungan hemiselulosa yang mengikat selulosa dapat terlepas, dan kandungan lignin pada dinding sel yang menghalangi selulosa mulai turun.

Hal ini sesuai dengan pendapat Hu *et al.*, (2008), yang melaporkan bahwa radiasi microwave menyebabkan efek ledakan fisik pada mikrofiber, yang menyebabkan disintegrasi struktur yang sulit terdegradasi seperti lignin yang melindungi selulosa. Selain itu medan elektromagnetik yang digunakan pada microwave dapat memproduksi efek fisiko-kimia yang juga mempercepat perusakan struktur kristal pada selulosa (Hu *et al.*, 2008). Oleh karena itu selulosa yang didapatkan pada proses kombinasi microwave-NaOH pretreatment, menghasilkan kandungan selulosa yang



Gambar 3. Perbandingan hasil lignoselulosa jerami padi setelah treatment microwave-NaOH

lebih tinggi dari kandungan selulosa sebelum proses *pretreatment*.

Penelitian *pretreatment* jerami padi telah dilakukan sebelumnya dengan menggunakan autoclave dan menggunakan microwave juga telah dilakukan oleh beberapa sumber terdahulu yang dapat dilihat pada Tabel 1.

Hasil penelitian ini tidak mendapatkan hasil yang lebih baik dari penelitian sebelum-sebelumnya. Kandungan selulosa sebelum *pretreatment wet milling* juga lebih rendah dibanding *dry milling*, hal ini mengakibatkan peningkatan kandungan selulosa dalam *wet milling* tidak terlalu signifikan. Selain itu

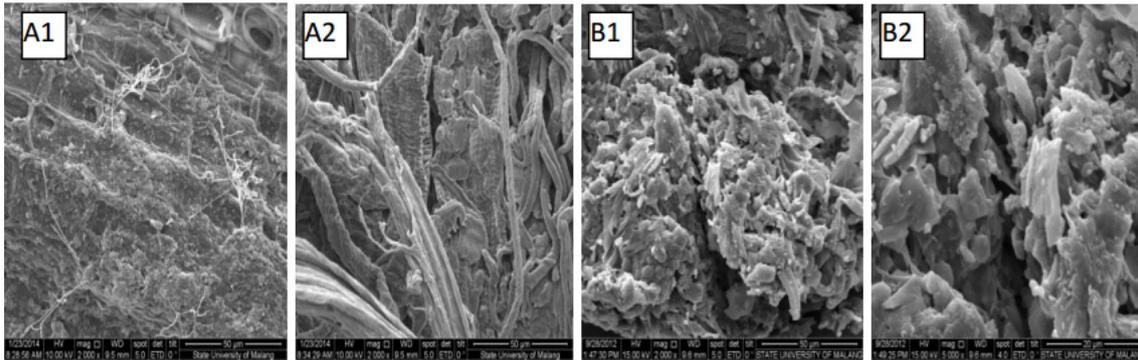
saat ikatan lignin berusaha dipecahkan, ada sebagian selulosa yang ikut rusak. Kedua, dimungkinkan pada analisis menggunakan metode Chesson (Dehani dkk, 2013). Pada penelitian Hiden *et al.* (2012), yang menyatakan hasil glukosa dengan *wet milling* lebih rendah dibanding *dry milling*. Namun energi yang dikeluarkan *wet milling* lebih rendah dibanding *dry milling*. Selain itu, *wet milling* juga lebih efektif digunakan dalam skala besar dan lebih efektif untuk proses hidrolisis. Pemplenderan mengakibatkan ukuran dari jerami padi itu sendiri tidak seragam dan lebih besar dari pada menggunakan *disk mill*. Semakin besar

Tabel 1. Perbandingan Hasil *Pretreatment* Jerami Padi

Perlakuan	Peningkatan Selulosa (%)	Penurunan Lignin (%)	Referensi
Autoclave dengan NaOH, Tekanan 304.5 Kpa (60 menit)	2.7	5.86	(Rokhmah, 2011)
<i>Pretreatment</i> microwave-FeCl ₃	55	37	(Lu dan Zhou, 2002)
<i>Pretreatment</i> Na ₂ SO ₃ -microwave (30 menit)	23.5	4.6	(Phutela <i>et al.</i> , 2011)
<i>Pretreatment</i> Alkali NH ₃ (70 menit)	25.4	4.0	(Verma <i>et al.</i> , 2011)
Microwave <i>Pretreatment</i> Alkali NH ₃ (30 menit) P=700 W	29.2	5.1	(Verma <i>et al.</i> , 2011)
DMP Microwave-NaOH 0.5M <i>pretreatment dry milling</i> ukuran 100 mesh (40 menit) P = 950 W	42.32	4.27	(Dehani dkk, 2013)
Microwave- NaOH 0.5 M <i>pretreatment wet milling</i> (40 menit) P= 950 W	6.42	1.09	Hasil Penelitian

Tabel 2. Perbandingan Perhitungan Energi Yang Dibutuhkan

Proses <i>pretreatment</i>	WMP		DMP	
	Alat yang digunakan	Energi yang dibutuhkan	Alat yang digunakan	Energi yang dibutuhkan
Proses penggilingan	Blender (Matsunichi) 100 Watt selama 5 menit	30000 kJ	Disk Mill 1.1 KW selama 5 menit	330000 kJ
Proses <i>treatment</i> microwave	Microwave (Panasonic NN-GD 371 M) 950 Watt selama 40 menit	2310000 kJ	Microwave (Panasonic NN-GD 371 M) 950 Watt selama 40 menit	2310000 kJ
Total energi		2340000 kJ		2640000 kJ



Gambar 3. Hasil pencitraan SEM penampang melintang jerami padi dengan perbesaran 2000x

Keterangan : (A1) setelah proses penggilingan metode WMP
(A2) setelah *pretreatment microwave-NaOH* metode WMP
(B1) setelah proses penggilingan metode DMP
(B2) setelah *pretreatment microwave-NaOH* metode DMP

ukuran mesh jerami padi yang digunakan maka kandungan lignoselulosanya semakin kecil.

Analisis Kebutuhan Energi

Kebutuhan energi adalah hal yang perlu dianalisis dalam suatu proses mengingat produksi bioetanol nantinya akan diproduksi dalam skala yang besar. Salah satu tujuan dilakukan metode *pretreatment* WMP adalah karena biaya penggilingannya yang cukup rendah dibandingkan dengan metode DMP, dimana perhitungan energi dari kedua metode tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.

Berdasarkan Tabel 2 tersebut, total kebutuhan energi dari masing-masing *pretreatment* mempunyai nilai yang cukup besar yaitu lebih dari 2000 MJ, namun nilai total kebutuhan energi untuk WMP lebih rendah dibandingkan dengan metode DMP, dimana perbedaan yang signifikan ini terletak pada energi yang dibutuhkan pada saat proses pengecilan ukuran atau proses penggilingan. Kebutuhan energi penggilingan dengan metode DMP jauh lebih besar dibandingkan penggilingan dengan metode WMP walaupun kedua metode tersebut dilakukan pada berat jerami yang sama (100 g jerami). Nilai kebutuhan energi yang lebih kecil dengan menggunakan metode WMP ini akan berdampak kepada biaya produksi bioetanol yang lebih murah jika dilakukan pada skala industri.

Struktur Mikro Jerami Padi

Salah satu pengujian pada penelitian ini adalah pengujian *mikrostruktur* dengan menggunakan *Scanning Electron Microscopy*

(SEM) yang meliputi pengujian bahan sebelum dan sesudah proses *pretreatment* jerami padi pada perlakuan yang terbaik. Hal ini dilakukan untuk mengetahui perubahan fisiologis jerami padi akibat adanya *pretreatment* dengan *microwave*. Struktur mikro jerami padi sebelum proses *pretreatment* pada berbagai perbesaran dengan SEM dapat dilihat pada Gambar 3.

Perbedaan hasil antara jerami padi sebelum *pretreatment* dengan sesudah *pretreatment* terlihat dalam hasil pencitraan SEM yang memperlihatkan struktur sel jerami padi. Pada hasil foto SEM terlihat bahwa jerami padi mengalami perubahan struktur. Pada jerami padi sebelum perlakuan, terlihat jelas strukturnya padat dan tertutup. Terlihat dengan jelas bahwa struktur jerami padi masih berbentuk bongkahan besar. Dengan variasi ukuran partikel yang belum homogen, ada yang masih berukuran kecil ada juga yang berukuran sangat besar. Ukuran partikel jerami padi terlihat pada gambar berkisar antar 20-30 μm . Struktur lignin pada jerami padi terlihat masih sangat besar yaitu berupa bongkahan-bongkahan. Struktur lignin pada perbesaran 2000x terlihat lebih jelas berbentuk bongkahan besar yang mengandung lebih banyak bahan organik, tidak seragam (amorf) dan lebih kompak dan rongga yang terbuka cukup kecil. Kemudian setelah *pretreatment* seolah-olah permukaannya terbuka karena jaringan pada permukaan luarnya rusak dan putus, sehingga permukaannya terbuka dan menjadi tidak kompak lagi. Terbukanya permukaan luar jerami padi akan memudahkan hidrolisis selulosa menjadi glukosa, karena selulosa yang akan terhidrolisis tidak hanya selulosa pada bagian luar saja, tetapi juga pada selulosa

bagian dalam, sehingga diharapkan akan menghasilkan glukosa yang lebih optimal. Selain itu, rongga pada struktur lignin terbuka lebih besar dibandingkan sebelum perlakuan. Struktur lignin telah terdegradasi dengan ditunjukkan oleh adanya perubahan ukuran partikel yang menyerupai serat-serat. Kemungkinan lignin telah terbuka dan mampu memecah karbohidrat yang ada pada jerami padi yang di dalamnya terkandung selulosa dan hemiselulosa. Proses *pretreatment* dengan *microwave* dapat memperbesar akses area jerami padi untuk proses enzimatik selanjutnya. Semakin besar akses area yang ada, diharapkan glukosa yang dihasilkan oleh selulosa akan semakin meningkat sehingga pada akhirnya akan memperbesar perolehan *yield* etanol (Dehani dkk, 2013).

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perbandingan *pretreatment* menggunakan metode WMP dan metode DMP, dapat diambil kesimpulan bahwa, hasil *pretreatment* jerami padi metode WMP tidak lebih baik dibandingkan dengan DMP dari segi kandungan lignoselulosa (hemiselulosa, selulosa dan lignin) baik setelah proses penggilingan maupun setelah proses *microwave*-NaOH, namun metode WMP memiliki keunggulan di dalam kebutuhan energy yang lebih kecil dibandingkan metode DMP. Hal ini juga akan menjadi pertimbangan jika diterapkan pada skala yang besar atau industri.

DAFTAR PUSTAKA

Badger PC. 2002. Ethanol from cellulose :A general review .p.17-21. In :J Janick and A. Whipkey (eds.), Trends in new crops and new uses. ASHS Press Alexandria, VA.

Dehani FR, Argo BD, dan Yulianingsih R. 2013. Pemanfaatan Iradiasi Gelombang Mikro Untuk Memaksimalkan Untuk Proses *Pretreatment* Degradasi Lignin Jerami Padi (Pada Produksi Bioetanol). . J. Bioproses Komoditas Tropis, 1(1): 13-20.

Dewi. 2002. Hidrolisis Limbah Hasil Pertanian Secara Enzimatik. J. Akta Agrosia. 5 (2): 67 - 71.

Hideno A, Inoue H, Yanagida T, Tsukahara K, Endo T, Sawayama S. 2012. Combination of hot compressed water

treatment and wet disk milling for high sugar recovery yield in enzymatic hydrolysis of rice straw. *Bioresour. Technol.* 104: 743-8.

Hu G, Heitmann JA, and Rojas OJ, Feedstock *Pretreatment* Strategies for Producing Ethanol from Wood, Bark, and Forest Residues, *Bioresources* 3(1): 270-294

Karimi, K., Emtiazi, G., dan Taherzadeh, M. J. 2006. Ethanol production from dilute-acid pretreated rice straw by simultaneous saccharification and fermentation with *Mucor indicus*, *Rhizopus oryzae*, and *Saccharomyces cerevisiae*. *Enzyme and Microbial Technology*, 40, 138-144.

Kim S, dan Dale BE. 2004. Global potential bioethanol production from wasted crops and crop residues. *Biomass and Bioenergy*, 26, 361-375.

Kodri, Argo, BD dan Yulianingsih, R. 2013. Pemanfaatan Enzim selulasai dari *Trichoderma Reseu* dan *Aspergillus Niger* sebagai Katalisator Hidrolis Enzimatik Jerami PADI dengan *Pretreatment Microwave*. J. Bioproses Komoditas Tropis, 1(1): 36-43.

Lü J dan Zhou, P. 2002. Optimization of *Microwave*-assisted $FeCl_3$ *Pretreatment* Conditions of Rice Straw and Utilization of *Trichoderma viride* and *Bacillus pumilus* for Production of Reducing Sugars. *Bioresour. Technol.*, 102: 6966-6971.

Oktaviani S. 2008. Pengaruh Jerami Padi dengan Perendaman Air Laut Terhadap Kandungan ADF dan NDF. 31-32.

Phutela U, Kaur K, dan Khattra S. 2011. *Pretreatment* of Paddy Straw for Energy Use. Punjab Technical University, Jalandhar.

Rokhmah I. 2011. Pengaruh *Pretreatment* (Delignifikasi) Bertekanan terhadap Kandungan Bubuk Jerami Padi Giling pada Produksi Bioetanol. Skripsi. Jurusan Keteknikan Pertanian, Universitas Brawijaya : Malang.

Sun Y and Cheng J. Hydrolysis of Lignocellulosic Materials for Ethanol Production: A Review. *Bioresource Technol* 83:1-11 (2002).

Verma A, Kumar S dan Jain P. 2011. Key *Pretreatment* Technologies On Cellulosic Ethanol Production. *Journal of Scientific Research*. Bananas Hindu University, Varanasi 57-03.