

PROSES PERLAKUAN AWAL AMPAS TEBU DENGAN PELARUT ASAM DAN GELOMBANG MIKRO SEBAGAI BAHAN BAKU *BIOETHANOL*

PROCESS OF INITIAL TREATMENT OF SUGARCANE BAGASSE WITH ACID SOLUTIONS AND MICROWAVES AS BIOETHANOL RAW MATERIAL

Medya Ayunda Fitri^{1*}, Yulia Tri Rahkadima¹

¹Program Studi Teknik Kimia, Universitas Nahdlatul Ulama Sidoarjo, Sidoarjo 61218, Indonesia

*email: yulia_tkim@unusida.ac.id

(Received: 21 November 2021; Reviewed: 29 November 2021; Accepted: 24 December 2021)

Abstrak

Proses *pretreatment* perlu dilakukan pada penggunaan ampas tebu sebagai bahan baku generasi kedua pembuatan *bioethanol*. Hal ini dikarenakan sebagian besar kandungan ampas tebu adalah lignoselulosa yang memiliki struktur yang kuat dan susah difermentasi. Proses *pretreatment* ampas tebu dengan menggunakan senyawa asam dan pemanasan gelombang mikro dilakukan dalam penelitian ini. Penelitian itu bertujuan untuk mengetahui pengaruh variabel proses yaitu konsentrasi senyawa asam (0,1; 0,4 dan 1,0 M) dan waktu reaksi (10-30 menit) terhadap komposisi produk *solid* yang diperoleh. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan reaktor *microwave* yang diperoleh dengan memodifikasi *microwave* domestik dengan alat pengatur suhu dan kondensor refluk. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode yang dirancang pada penelitian ini telah berhasil mengubah struktur selulosa dan hemiselulosa pada produk yang diperoleh. Kenaikan waktu reaksi menurunkan persentase kandungan selulosa dan hemiselulosa pada produk. Pengaruh yang sama juga ditunjukkan oleh perubahan konsentrasi pelarut. Kenaikan konsentrasi pelarut menyebabkan semakin kecilnya persentase selulosa dan hemiselulosa yang diperoleh. Hasil penelitian menunjukkan bahwa ukuran kristal pada ampas tebu sebelum dan sesudah reaksi mengalami penurunan.

Kata Kunci: perlakuan awal, asam, gelombang mikro, ampas tebu

Abstract

The *pretreatment* process should be carried out when using bagasse as a raw material to produce second-generation *bioethanol*. The *pretreatment* is needed because most of the bagasse content is lignocellulosic, which has a strong structure and is difficult to ferment. This study performed a bagasse *pretreatment* process with acid compounds and microwave heating. The purpose of this study is to analyze the effect of process variables, namely the concentration of acidic compounds (0.1; 0.4 and 1.0 M) and reaction time (10-30 minutes), on the composition of the obtained solid product. This study used a microwave reactor by modifying a household microwave with a temperature controller and a reflux condenser. The results showed that the method developed in this study succeeded in altering the structure of cellulose and hemicellulose in obtained products. Increasing the reaction time reduces the amount of cellulose and hemicellulose in the product. The same effect can be seen by changing the solvent concentration. As the solvent concentration increases, the resulting cellulose and hemicellulose content decreases. The results showed that the bagasse crystal size decreased and after the reaction.

Keywords: *pretreatment*, acid, microwave, sugarcane bagasse

1. PENDAHULUAN

Biomassa berbasis lignoselulosa banyak ditemukan sebagai limbah domestik maupun industri. Ampas tebu sebagai limbah industri gula belum dimanfaatkan dengan baik selama ini. Data menunjukkan bahwa hanya 60 % ampas tebu dimanfaatkan untuk berbagai macam kebutuhan, dan masih ada 40 % yang tidak dimanfaatkan dengan baik (Hermiati *et al.*, 2010). Secara umum, biomassa berbasis lignoselulosa terdiri dari 40 % - 50% selulosa, 20 %-30% hemiselulosa dan 10 % - 25% lignin (Puligundla *et al.*, 2016). Bahan lignoselulosa memiliki potensi yang sangat besar untuk dijadikan bahan baku pembuatan *bioethanol*. Proses produksi *bioethanol* adalah proses konversi bahan baku berupa lignoselulosa menjadi gula sederhana seperti glukosa untuk selanjutnya difermentasi untuk menghasilkan *bioethanol*. Proses konversi lignoselulosa secara umum terdiri dari empat tahapan proses yaitu proses perlakuan awal, proses hidrolisis, fermentasi dan separasi/distilasi (Puligundla *et al.*, 2016).

Perlakuan awal adalah tahapan krusial untuk efisiensi konversi biomassa menjadi *bioethanol*. Tujuan perlakuan awal adalah untuk mengubah struktur keras selulosa menjadi amorf sehingga lebih mudah diproses pada tahapan selanjutnya. Selain itu tujuan perlakuan awal adalah untuk meningkatkan luas permukaan dan volume pori (Puligundla *et al.*, 2016). Struktur yang kuat dan kaku dari biomassa disebabkan oleh dua faktor utama yaitu struktur kristal selulosa serta matrik polisakarida dan lignin dibungkus oleh serat selulosa.

Perlakuan awal dengan menggunakan senyawa kimia dapat meningkatkan kelarutan dan proses depolimerisasi lignoselulosa dan memutus ikatan *crosslinking* antar makromolekul. Berbagai senyawa kimia dapat digunakan dalam proses perlakuan awal bahan lignoselulosa seperti senyawa asam maupun basa. Senyawa basa telah banyak digunakan untuk proses *pretreatment*. Penggunaan senyawa basa bertujuan untuk proses delignifikasi yaitu penghilangan senyawa lignin dalam lignoselulosa. Sementara itu, *pretreatments* asam menghidrolisis fraksi hemiselulosa dan meninggalkan selulosa dan lignin utuh dalam padatan sisa.

Asam pekat seperti H_2SO_4 atau HCl dapat digunakan dalam proses *pretreatment* (Sun & Cheng, n.d.). Kekurangan metode ini adalah toksisitas, korosifitas dan asam pekat yang berbahaya. Selain itu, asam pekat harus diperoleh kembali setelah hidrolisis untuk membuat proses layak secara ekonomi. Hidrolisis asam encer juga telah berhasil dikembangkan untuk *pretreatment* bahan lignoselulosa (Kumar *et al.*, 2009; Sun & Cheng, n.d.). Ada dua jenis proses *pretreatment* asam encer : 1) suhu tinggi (lebih dari 433K), proses aliran kontinu untuk *loading* bahan baku rendah; 2) suhu rendah (kurang dari 433K), proses *batch* untuk *loading* bahan baku tinggi. Penggunaan asam sulfat encer adalah untuk hidrolisis hemiselulosa dan membuat selulosa lebih tersedia untuk hidrolisis enzimatik.

Gelombang mikro (*microwave*) adalah gelombang elektromagnetik dengan frekuensi yaitu antara 0.3 GHz - 300 GHz. Energi terkait dengan *microwave* lebih rendah dibandingkan dengan gerak Brownian di mana tidak cukup kuat untuk memutus ikatan kimia. Pengaruh energi *microwave* pada reaksi kimia maupun biokimia adalah pengaruh termal dan non termal. *Microwave* sebagai sumber energi menghasilkan panas dari interaksi antara material pada tingkat molekular tanpa mengubah struktur molekul. Pemanasan dengan *microwave* memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dengan pemanasan konvensional seperti pemanasan tidak langsung (*non-contact heating*) dapat mengurangi pemanasan berlebih pada permukaan material, transfer energi sebagai ganti transfer panas (*penetrative radiation*), mengurangi termal gradien. Dalam proses perlakuan awal bahan lignoselulosa, penggunaan *microwave* memiliki keunggulan antara lain pemanasan yang lebih efektif, pemanasan yang cepat, mengurangi ukuran peralatan dan tahapan proses dan meningkatkan produksi (Gude *et al.*, 2013).

2. METODOLOGI

Penelitian ini dilakukan melalui dua tahapan yaitu tahapan persiapan bahan baku dan tahapan *pretreatment* dengan *microwave*. Bahan baku yang digunakan adalah ampas tebu yang diperoleh dari limbah industri gula lokal. Tahapan persiapan bahan baku diawali dengan mengeringkan bahan baku di bawah sinar matahari selama 2 hari dan dihaluskan menggunakan blender. Bubuk ampas tebu kemudian disaring menggunakan ayakan ukuran 50 mesh untuk menyeragamkan ukuran bahan baku. Bahan baku telah siap untuk proses *pretreatment* dengan *microwave*.

Pretreatment dilakukan menggunakan *microwave* domestik yang telah dimodifikasi dengan pengaturan suhu dan kondensor. Sebanyak 5 g bubuk ampas tebu dan 200 ml larutan asam H₂SO₄ (0,2; 0,4 dan 1,0 M) dimasukkan ke dalam labu alat bulat dan selanjutnya dimasukkan ke dalam *microwave*. *Pretreatment* dilakukan pada suhu 180 °C dengan rentang waktu reaksi (5 menit hingga 30 menit). Setelah perlakuan awal, larutan dipisahkan dari padatan residu dengan filtrasi. Produk padat dibilas dengan etanol (3 × 50 ml) dan dikeringkan dengan menggunakan oven pada suhu 50 °C semalaman (Zhu *et al.*, 2015) untuk memastikan bahwa pelarut sudah teruapkan semua. Produk padat hasil perlakuan awal dengan asam siap untuk dianalisis.

Kandungan selulosa dan hemiselulosa di dalam produk dianalisis menggunakan metode Chesson, sementara untuk melihat kekristalan material setelah proses *pretreatment* dilakukan analisis menggunakan instrumen Difraksi sinar X. Ukuran kristalitas material dihitung dengan menggunakan rumus Scherrer (Patterson A, 1939) :

$$D_{(hkl)} = \frac{K \lambda}{B_{(hkl)} \cos \theta}$$

Di mana $D_{(hkl)}$ = ukuran kristal, K = konstanta Scherrer (0,84), λ = panjang gelombang X – ray, $B_{(hkl)}$ = full width half maximum, 2θ = Bragg angle.

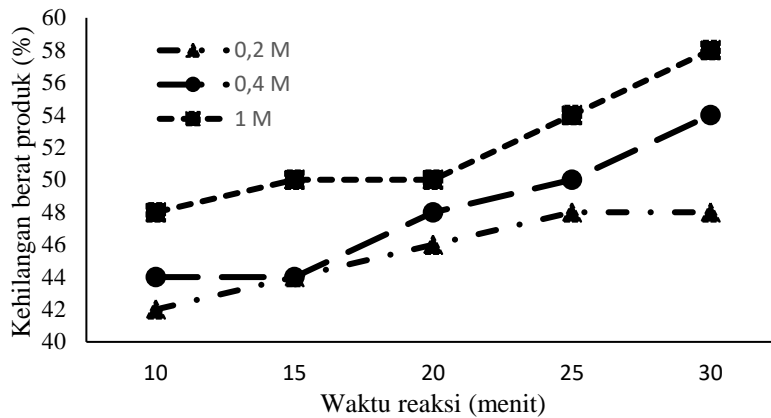
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Ampas tebu memiliki potensi yang sangat besar sebagai bahan baku pembuatan *bioethanol*. Jumlah ketersediaan ampas tebu sangat besar yaitu mencapai 2.991.114 ton (Hermiati *et al.*, n.d.) Komposisi ampas tebu dari berbagai sumber data dilihat pada Tabel 1. Dari data di Tabel 1 dapat dilihat bahwa komposisi terbesar ampas tebu adalah selulosa yaitu berkisar antara 35,01%-50% disusul oleh komponen hemiselulosa dan lignin. Dengan komposisi terbesar adalah selulosa, maka ampas tebu memiliki struktur kristal kuat yang perlu diubah untuk dapat difermentasi menjadi gula sederhana. Santiago *et al.*, (2013) melaporkan bahwa indeks kristalitas ampas tebu sebelum proses *pretreatment* adalah 73,5±1,5 %.

Tabel 1. Komposisi ampas tebu dari berbagai sumber

Komponen	(Pippo & Luengo, 2013)	(Petersen <i>et al.</i> , 2014)	(Cheung, 1997)	(Hidayati <i>et al.</i> , 2016)
Selulosa (hexose)	46	41,1	50	35,01
Hemiselulosa (pentose)	27	26,4	25	25,24
Lignin	23	21,7	25	6,4
Pektin	0	-	-	-
Abu	4	4	-	-

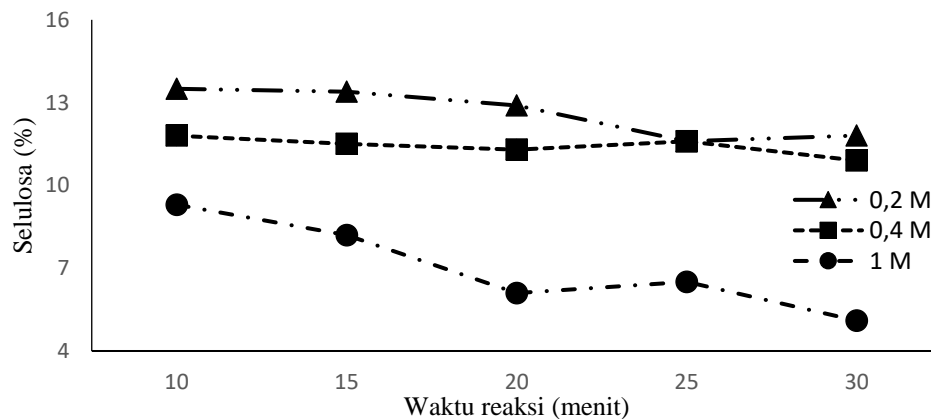
Proses perlakuan awal ampas tebu bertujuan untuk mengurai struktur lignoselulosa menjadi struktur yang lebih mudah diakses oleh enzim fermentasi. Proses ini menyebabkan berkurangnya jumlah produk padatan yang diperoleh di akhir proses *pretreatment*. Pengaruh variabel proses yaitu waktu reaksi dan konsentrasi pelarut asam terhadap persentase kehilangan berat produk *solid* dapat dilihat di Gambar 1.



Gambar 1. Pengaruh waktu reaksi dan konsentrasi pelarut terhadap persentase kehilangan berat produk

Hasil penelitian menunjukkan bahwa persentase kehilangan berat produk mengalami peningkatan seiring dengan kenaikan waktu reaksi dan konsentrasi pelarut. Kecenderungan yang sama ditunjukkan untuk semua variabel konsentrasi asam klorida. Untuk konsentrasi 0,2 M, persentase kehilangan berat produk pada waktu reaksi 10 menit adalah 42% dan meningkat menjadi 48% dengan kenaikan waktu reaksi menjadi 30 menit. Terjadinya pengurangan berat produk mungkin disebabkan oleh terurainya fraksi hemiselulosa dan selulosa menjadi fase terlarut. Sementara itu, pengaruh konsentrasi pelarut terhadap kehilangan berat produk dapat dilihat di gambar yang sama (Gambar 1). Kenaikan konsentrasi pelarut dari 0,1 M ke 1 M menyebabkan semakin besarnya kehilangan produk *solid* di akhir reaksi. Hal ini mungkin disebabkan semakin besar konsentrasi pelarut maka semakin efektif proses perusakan struktur kristal selulosa dan degradasi hemiselulosa menjadi gula sederhana (Fajriutami *et al.*, 2016).

Perlakuan awal dengan menggunakan senyawa asam telah banyak dilaporkan oleh para peneliti terdahulu (Jackson de Moraes Rocha *et al.*, 2011; Zhu *et al.*, 2016). Senyawa asam akan lebih banyak bekerja pada hemiselulosa, tetapi tidak pada selulosa dan lignin. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan pelarut asam dikombinasikan dengan gelombang mikro bisa memberikan efek pada kandungan selulosa produk. Kenaikan waktu reaksi menyebabkan penurunan persentase selulosa di dalam produk. Penurunan jumlah selulosa di dalam produk disebabkan oleh pecahnya struktur kristal selulosa dan lepasnya gula sederhana ke fase liquid. Penggunaan *microwave* dapat memfasilitasi proses *pretreatment* dapat berjalan efektif. Pemanasan dengan gelombang mikro dapat menginisiasi panas yang dihasilkan dari interaksi molekul masing-masing.

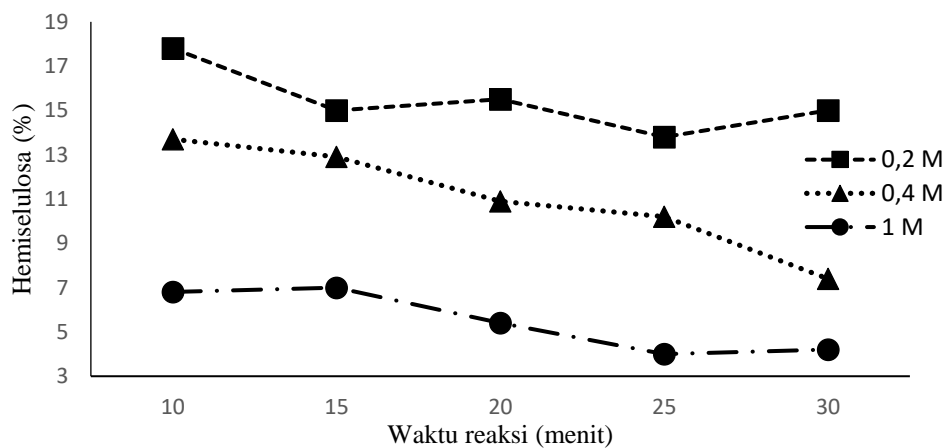


Gambar 2. Pengaruh waktu reaksi dan konsentrasi pelarut terhadap persentase selulosa setelah proses perlakuan awal

Dari Gambar 2 dapat dilihat bahwa pada saat waktu *pretreatment* dilakukan dengan menggunakan pelarut asam 1 M selama 10 menit maka kandungan selulosa adalah sebesar 9,30%

menurun menjadi 5% dengan kenaikan waktu *pretreatment* menjadi 30 menit. Sesuai data yang ada dengan kandungan rata-rata selulosa dalam ampas tebu adalah 43% maka penurunan jumlah selulosa yang terjadi cukup signifikan. Penurunan terbesar kandungan selulosa yang diperoleh adalah 88,2%. Kecenderungan yang sama ditunjukkan untuk variabel 0,4 M dan 0,1 M. Pengaruh perubahan konsentrasi pelarut terhadap kandungan selulosa produk dapat dilihat pada Gambar 2. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kandungan selulosa tersebar diperoleh dengan konsentrasi 0,1 M. Kandungan selulosa menurun dengan kenaikan konsentrasi pelarut.

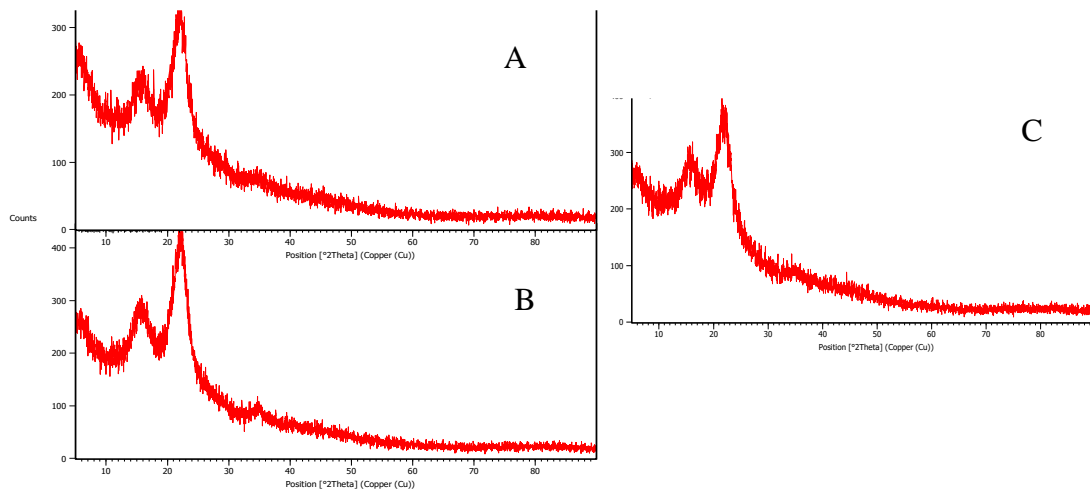
Perbedaan mekanisme gelombang mikro dan pemanasan konvensional terhadap kristalinitas selulosa dapat dijelaskan dengan berbagai mekanisme pemanasan. Dalam pemanasan konvensional, struktur biomassa terganggu oleh infiltrasi panas dari luar ke dalam, dan selulosa berubah dari struktur kristal menjadi struktur amorf, hal ini berbeda untuk mekanisme pemanasan dengan gelombang mikro, medan gelombang mikro yang bergetar dengan kutub biomassa dapat menghasilkan panas dari dalam selulosa. Serat selulosa dapat berupa konduktor ionik (kristalin) dan non-konduktif (amorf). Jaringan hidrogen yang sangat terikat dan teratur dalam selulosa kristal dapat menginduksi perpindahan proton di bawah medan elektromagnetik dalam kondisi yang sesuai. Oleh karena itu, selulosa kristal dapat bertindak sebagai penyerap gelombang mikro aktif dan mempercepat dekomposisi biomassa (Zhu *et al.*, 2016).



Gambar 3. Pengaruh waktu reaksi dan konsentrasi pelarut terhadap persentase hemiselulosa setelah proses perlakuan awal

Berbagai penelitian terkait penggunaan asam sebagai pelarut dalam proses *pretreatment* menyebutkan bahwa senyawa asam memiliki performa yang baik ketika berhadapan dengan senyawa hemiselulosa. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kenaikan waktu reaksi dapat menurunkan kandungan hemiselulosa di dalam produk *solid*. Penurunan jumlah hemiselulosa disebabkan oleh terdegradasinya senyawa hemiselulosa menjadi gula sederhana. Senyawa hemiselulosa secara cepat dihidrolisis menjadi produk turunannya seperti *xylose*, *manose*, *galaktose*, dan *glucose* dalam keadaan asam. Hal ini mungkin disebabkan hemiselulosa terdiri dari rantai pendek heteropolisakarida yang bercabang, tersusun atas heksosa dan pentose dan memiliki struktur amorf. Peningkatan kondisi *pretreatment* dapat menyebabkan hidrolisis lanjutan senyawa gula menjadi senyawa furfural atau Hidro Metil Furfural yang bisa menjadi racun untuk proses fermentasi (Tsigie *et al.*, 2013).

Pada waktu reaksi 10 menit dan konsentrasi asam sulfat yang digunakan adalah 0,1 M, kandungan hemiselulosa di dalam produk *solid* adalah 17,8% dan menurun menjadi 15% dengan kenaikan waktu reaksi. Sementara itu, untuk konsentrasi 0,4 M dan 1 M, kandungan hemiselulosa mengalami penurunan dari 13,7% menjadi 7,4% dan dari 6,8% menjadi 4,2% secara berurutan. Jika dibandingkan dengan data literatur (Tabel 1) terkait kandungan hemiselulosa dalam ampas tebu maka persentase penurunan terbesar dari kandungan hemiselulosa adalah sebesar 84%, sedikit lebih kecil jika dibandingkan dengan penurunan kandungan selulosa.



Gambar 4. Spektrum difraksi XRD ampas tebu sesudah proses *pretreatment* (A = 10 menit ; B = 30 menit) dan sebelum proses *pretreatment* (C)

Untuk melihat pengaruh proses *pretreatment* terhadap kristalinitas material dilakukan analisis menggunakan difraksi sinar X. Hasil analisis ditunjukkan pada Gambar 4. Pola difraksi ampas tebu sebelum dan setelah proses *pretreatment* hampir memiliki pola yang sama. Puncak lebar mendekati $22^\circ 2\theta$ ditemukan di ampas tebu sebelum dan sesudah *pretreatment*. Puncak $22^\circ 2\theta$ dikaitkan dengan puncak selulosa II. Puncak mendekati $15^\circ 2\theta$ juga ditemukan di semua sampel analisis. Puncak $15^\circ 2\theta$ juga merupakan puncak selulosa II (Kafle *et al.*, 2015). Hasil perhitungan ukuran kristal didapatkan bahwa ampas tebu sebelum *pretreatment* adalah 99,9 nm dan setelah *pretreatment* adalah 47,65 nm untuk waktu reaksi 30 menit dan 51,84 nm untuk waktu reaksi 10 menit. Hasil perhitungan tersebut menunjukkan bahwa terjadi perubahan ukuran kristal dari sebelum proses *pretreatment* dengan setelah *pretreatment*. Semakin lama waktu reaksi maka ukuran partikel yang diperoleh semakin mengecil. Hal ini mungkin disebabkan oleh rusaknya struktur selulosa akibat penetrasi senyawa asam ke dalam struktur selulosa.

4. KESIMPULAN

Proses *pretreatment* dengan asam sulfat dan gelombang mikro sukses dilakukan dengan menggunakan ampas tebu sebagai bahan bakunya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode ini cukup efektif untuk memecah struktur lignoselulosa ampas tebu. Perubahan variabel proses menyebabkan transformasi dalam struktur selulosa dan hemiselulosa produk dengan ditandai berkurangnya produk *solid* yang diperoleh. Dengan meningkatkan waktu reaksi, ukuran kristal produk mengalami penurunan. Ini berarti proses *pretreatment* berhasil merusak struktur senyawa lignoselulosa sehingga bisa lebih mudah diolah pada tahapan selanjutnya.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didanai oleh hibah dari Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset dan Teknologi Republik Indonesia melalui Dana Penelitian Dosen Pemula pada tahun 2021.

DAFTAR PUSTAKA

- Cheung, S. W., A. B. C. (1997), 'Laboratory investigation of ethanol production from municipal primary wastewater', *Bioresour. Technology*, 59, pp. 81–96.
- Fajriutami, T., Fatriasari, W., Euis, D., Pusat, H., & Biomaterial, P. (2016), 'Pengaruh Pra Perlakuan Basa Pada Ampas Tebu Terhadap Karakterisasi Pulp Dan Produksi Gula Pereduksi EFFECTS OF ALKALINE PRETREATMENT OF SUGARCANE BAGASSE ON PULP

- CHARACTERIZATION AND REDUCING SUGAR PRODUCTION', *Jurnal Riset Industri*, 10(3).
- Gude, V. G., Martinez-Guerra, E., & Deng, S. (2013), 'Microwave energy potential for biodiesel production Green Chemistry for Sustainable Biofuels View project Hydrothermal Liquefaction of Microalgae polyculture Grown on Brackish Dairy Wastewater View project', <http://www.sustainablechemicalprocesses.com/content/1/5/5>
- Hermiati, E., Manganwidjaja, D., Sunarti, T. C., Suparno, O., & Prasetya, D. B. (n.d.). PEMANFAATAN BIOMASSA LIGNOSELULOSA AMPAS TEBU UNTUK PRODUKSI BIOETANOL, *Jurnal Litbang Pertanian*, 29(4).
- Hidayati, A. S., Dwi Saptati Nur, Silva Kurniawan, Nalita Widya Restu, & Bambang Ismuyanto, (2016), 'Potensi Ampas Tebu Sebagai Alternatif Bahan Baku Pembuatan Karbon Aktif', *NATURAL*, 3(4).
- Jackson de Moraes Rocha, G., Martin, C., Soares, I. B., Souto Maior, A. M., Baudel, H. M., & Moraes de Abreu, C. A. (2011), 'Dilute mixed-acid pretreatment of sugarcane bagasse for ethanol production. *Biomass and Bioenergy*, 35(1), pp. 663–670. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2010.10.018>
- Kafle, K., Lee, C. M., Shin, H., Zoppe, J., Johnson, D. K., Kim, S. H., & Park, S. (2015), 'Effects of Delignification on Crystalline Cellulose in Lignocellulose Biomass Characterized by Vibrational Sum Frequency Generation Spectroscopy and X-ray Diffraction', *Bioenergy Research*, 8(4), pp. 1750–1758. <https://doi.org/10.1007/s12155-015-9627-9>
- Kumar, P., Barrett, D. M., Delwiche, M. J., & Stroeve, P. (2009), 'Methods for pretreatment of lignocellulosic biomass for efficient hydrolysis and biofuel production', *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 48(8), pp. 3713–3729). <https://doi.org/10.1021/ie801542g>
- Patterson A. (1939), 'The Scherrer formula for X-ray particle size determination', *Phys Rev*, 56(10), pp. 978.
- Petersen, A. M., Aneke, M. C., & Görgens, J. F. (2014), 'Techno-economic comparison of ethanol and electricity coproduction schemes from sugarcane residues at existing sugar mills in Southern Africa', *Biotechnology for Biofuels*, 7(1). <https://doi.org/10.1186/1754-6834-7-105>
- Pippo, W. A., & Luengo, C. A. (2013), 'Sugarcane energy use: Accounting of feedstock energy considering current agro-industrial trends and their feasibility', *International Journal of Energy and Environmental Engineering*, 4(1), pp. 1–13. Springer Verlag. <https://doi.org/10.1186/2251-6832-4-10>
- Puligundla, P., Oh, S. E., & Mok, C. (2016), 'Microwave-assisted pretreatment technologies for the conversion of lignocellulosic biomass to sugars and ethanol: A review' *Carbon Letters*, 17(1), pp. 1–10. Korean Carbon Society. <https://doi.org/10.5714/CL.2016.17.1.001>
- Sun, Y., & Cheng, J. (n.d.). *Hydrolysis of lignocellulosic materials for ethanol production: a review q*.
- Tsigie, Y. A., Wu, C. H., Huynh, L. H., Ismadji, S., & Ju, Y. H. (2013), 'Bioethanol production from *Yarrowia lipolytica* Polg biomass', *Bioresource Technology*, 145, pp. 210–216. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2012.11.091>
- Zhu, Z., Rezende, C. A., Simister, R., McQueen-Mason, S. J., Macquarrie, D. J., Polikarpov, I., & Gomez, L. D. (2016), 'Efficient sugar production from sugarcane bagasse by microwave assisted acid and alkali pretreatment', *Biomass and Bioenergy*, 93, pp. 269–278. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2016.06.017>
- Zhu, Z., Simister, R., Bird, S., J. McQueen-Mason, S., D. Gomez, L., & J. Macquarrie, D. (2015), 'Microwave assisted acid and alkali pretreatment of *Miscanthus* biomass for biorefineries', *AIMS Bioengineering*, 2(4), pp. 449–468. <https://doi.org/10.3934/bioeng.2015.4.449>