

PENGARUH PERLAKUAN AWAL ULTRASONIK TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT (TKKS) SEBAGAI BAHAN BAKU PRODUKSI BIOETANOL DENGAN PENAMBAHAN NAOH

EFFECT OF ULTRASONIC PRETREATMENT ON OIL PALM EMPTY FRUIT BUNCH (OPEFB) AS RAW MATERIAL FOR BIOETHANOL PRODUCTION WITH ADDITION OF NAOH

Desan Roni Saputra¹, Suwandi², Egi Agustian³

^{1,3}Prodi S1 Teknik Fisika, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

²Pusat Penelitian Kimia – LIPI, Kawasan PUSPIPTEK, Serpong

[¹desansaputra@gmail.com](mailto:desansaputra@gmail.com), [²suwandi.sains@gmail.com](mailto:suwandi.sains@gmail.com), [³egiagustian@gmail.com](mailto:egiagustian@gmail.com)

Abstrak

Bioetanol merupakan sejenis alkohol yang diproduksi dari fermentasi glukosa kemudian dilanjutkan dengan proses distilasi. Bahan mentah dari bioetanol dibagi menjadi 3 kelompok, yaitu glukosa, pati atau karbohidrat dan lignoselulosa. Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) merupakan limbah dari hasil industri kelapa sawit yang sudah tidak digunakan lagi dan memiliki kandungan selulosa, hemiselulosa dan lignin sebesar 37,3 – 46,5%, 25,3 – 33,8% dan 27,6 – 32,5%. Konversi dari lignoselulosa TKKS menjadi bioetanol diperlukan proses *pretreatment* yang secara umum berfungsi mengurangi atau menghilangkan berbagai bahan/senyawa yang dapat menghambat laju hidrolisis dan meningkatkan produksi bioethanol dari gula sederhana yang berasal dari selulosa dan hemiselulosa. Metode *pretreatment* secara fisika dilakukan karena ramah lingkungan, tidak menggunakan bahan-bahan kimia dan tidak menghasilkan residu berbahaya. Metode *pretreatment* menggunakan teknik ultrasonik agar substrat yang dihasilkan lebih mudah untuk dihidrolisis dengan cara meningkatkan luas permukaan dan merubah kristalinitas substrat. Keunggulan metode ultrasonik antara lain tidak dapat didengar, bersifat langsung dan mudah difokuskan. *Pretreatment* tersebut dibantu dengan penambahan NaOH untuk memutus ikatan kimia antara lignin dan selulosa. Karakterisasi sampel menggunakan Spektrofotometer-UV untuk lignin dan HPLC untuk selulosa dan hemiselulosa. Pengujian SEM dilakukan untuk melihat struktur TKKS secara mikroskopis sebelum dan sesudah sonikasi. Parameter yang digunakan dalam penelitian ini adalah waktu (10, 30, 60 menit), amplitudo (30, 60, 90%) dan konsentrasi pelarut (0,5; 1; 1,5M). Dari berbagai variasi, diperoleh variasi yang paling baik (selulosa tinggi tetapi konsumsi energi rendah) pada kondisi waktu 10 menit, amplitudo 90% dan NaOH 0,5 M dengan kadar selulosa, hemiselulosa dan lignin sebesar 44,156%, 23,978% dan 26,801% dengan konsumsi energi sebesar 54375 joule.

Kata Kunci: Bioetanol, tandan kosong kelapa sawit, tkks, ultrasonik, lignoselulosa, amplitudo

Abstract

Bioethanol is a type of alcohol produced from glucose fermentation, followed by distillation process. Raw materials from bioethanol are divided into 3 groups, namely glucose, starch or carbohydrate and lignocellulose. Oil Palm Empty Fruit Bunch (OPEFB) is a waste of palm oil products that are no longer used and has cellulose, hemicellulose and lignin content of 37.3 - 46.5%, 25.3 - 33.8% and 27.6 - 32.5%. Conversion of lignocellulose OPEFB into bioethanol is required pretreatment process which generally serves to reduce or eliminate various materials / compounds that can inhibit the rate of hydrolysis and increase the production of bioethanol from simple sugars derived from cellulose and hemicellulose. Pretreatment method is physically done because it is environmentally friendly, does not use chemicals and does not produce harmful residues. The pretreatment method uses ultrasonic techniques to make the resulting substrate easier to hydrolyze by increasing the surface area and changing the crystallinity of the substrate. The advantages of ultrasonic methods, among others, can not be heard, are direct and easily focused. Pretreatment is aided by the addition of NaOH to break the chemical bond between lignin and cellulose. Characterization of samples using Spectrophotometer-UV for lignin and HPLC for cellulose and hemicellulose. SEM testing is done to look at the microscopic structure of OPEFB before and after sonication. The parameters used in this study are time (10, 30, 60 minutes), amplitude (30, 60, 90%) and solvent concentration (0.5; 1; 1.5M). From various variations, obtained the best variation (high

cellulose but low energy consumption) at 10 minutes, 90% amplitude and 0.5 M NaOH with cellulose, hemicellulose and lignin content of 44.156%, 23.978% and 26.801% with consumption energy of 54375 joules.

Keywords: Bioethanol, oil palm empty fruit bunch, opefb, ultrasonic, lignocellulose, amplitude

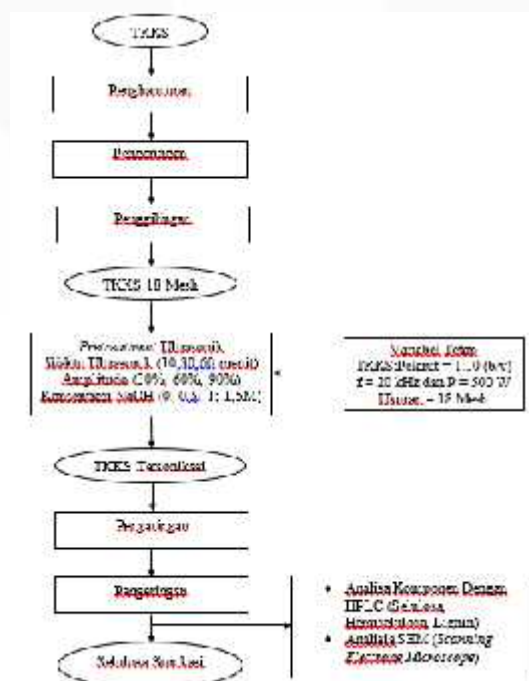
1. Pendahuluan

Sebagian besar energi yang dihasilkan di dunia berasal dari bahan bakar fosil, seperti minyak, batu bara, dan gas alam yang termasuk dalam sumber daya alam yang tidak dapat diperbaharui dan diperkirakan habis dimasa yang akan datang. Sementara itu diperkirakan permintaan energi akan meningkat 40% antara tahun 2010 sampai 2030 [1]. Pada tahun 2010, energi terbarukan diperkirakan menyediakan sekitar 16,7% dari konsumsi energi global. Dari seluruh energi terbarukan yang dihasilkan, diperkirakan 8,2% berasal dari energi terbarukan modern seperti tenaga air 3,3%, angin 0,9%, panas bumi 3,3%, dan *biofuel* 0,7%. Sumber-sumber ini dapat menggantikan penggunaan bahan bakar fosil yang digunakan pada pembangkit listrik dan bahan bakar untuk sarana transportasi [2]. Bioetanol merupakan sejenis alkohol yang diproduksi dari fermentasi glukosa kemudian dilanjutkan dengan proses distilasi. Bahan mentah dari bioetanol biasanya dibagi menjadi 3 kelompok, yaitu glukosa, pati atau karbohidrat dan lignoselulosa [3]. Bioetanol dapat mengurangi polusi lingkungan, sehingga lebih ramah lingkungan [4]. Limbah TKKS dari pabrik kelapa sawit sangat melimpah, sering terbakar di pabrik yang menyebabkan polusi udara. Sebagai biomassa, TKKS mengandung selulosa, hemiselulosa dan lignin. Kandungan selulosa, hemiselulosa dan lignin dari TKKS adalah 37,3 – 46,5%, 25,3 – 33,8% dan 27,6 – 32,5% [5]. TKKS mengandung selulosa yang tinggi, berpotensi dapat dikonversi menjadi produk bioetanol. Konversi dari lignoselulosa TKKS menjadi bioetanol terdiri dari *pretreatment* untuk mengurangi kristal selulosa dan menghilangkan lignin, lalu hidrolisis atau sakarifikasi selulosa menggunakan kombinasi enzim untuk produksi gula yang dapat difermentasi, dan fermentasi gula menjadi bioetanol [6]. Ilmu pengetahuan tentang proses *pretreatment* semakin berkembang telah mengantarkan teknik ultrasonik sebagai alternatif proses *pretreatment* untuk mendapatkan selulosa yang kadar tinggi. Perkembangan teknik ultrasonik mulai menarik industri dikarenakan teknik ini sangat ramah lingkungan dan mudah penggunaannya. Menurut Yunus (2010), Pada penelitian ini *pretreatment* menggunakan ultrasonik agar substrat yang dihasilkan lebih mudah untuk dihidrolisis dengan cara meningkatkan luas permukaan dan merubah kristalinitas substrat [7]. *Pretreatment* tersebut dibantu dengan penambahan NaOH untuk memutus ikatan kimia antara lignin dan selulosa [8].

2. Metodologi

2.1. Proses Kerja

Urutan proses kerja yang dilakukan pada penelitian, dapat dilihat pada penjelasan diagram alir Gambar 2.1 sebagai berikut.



Gambar 2.1 Diagram Alir Penelitian

Informasi dari diagram alir di atas, dapat dilihat bahwa bahan yang digunakan yaitu TKKS yang berasal dari daerah Malimping, Banten. Kemudian TKKS dihancurkan dengan mesin *chopper*, lalu dikeringkan dengan cara dijemur sinar matahari sampai kadar air dibawah 10% setelah itu digiling dengan mesin *pin milling* 10 inch. Kemudian TKKS disaring menggunakan saringan 18 mesh. Untuk langkah *pretreatment*, ditimbang TKKS 10 gram kemudian dicampurkan dengan pelarut untuk setiap variasi (air, NaOH 0,5; 1; 1,5M). Pelarut dan pengaduk dimasukkan ke dalam gelas beaker 250 ml dan diletakkan pada *ice bath*. Ice bath diletakkan diatas *magnetic stirrer* pada posisi tengah. Sonikator yang digunakan memiliki daya 500 Watt. Kemudian diatur amplitudo dan waktu pada sonikator. Lalu sonikator dinyalakan dan dicatat hasilnya. Setelah proses sonikasi selesai, sampel dicuci sampai nilai pH ± 7 (netral) dan disaring menggunakan kertas saring. Kemudian sampel dikeringkan menggunakan oven dengan suhu $\pm 100^{\circ}\text{C}$. Setelah proses *pretreatment* selesai, sampel akan dianalisa menggunakan *High Performance Liquid Chromatography* (HPLC) dan *Scanning Electrone Microscope* (SEM).

2.2. High Performance Liquid Chromatography (HPLC)

Setelah proses *pretreatment* selesai, maka dilanjutkan dengan uji HPLC. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kandungan lignoselulosa pada TKKS. Analisis kandungan lignoselulosa untuk berbagai variasi dapat dilihat pada bab 3 yaitu pengaruh waktu, amplitudo, konsentrasi pelarut dan jenis pelarut terhadap kadar selulosa, hemiselulosa dan lignin.

2.3. Scanning Electrone Microscope (SEM)

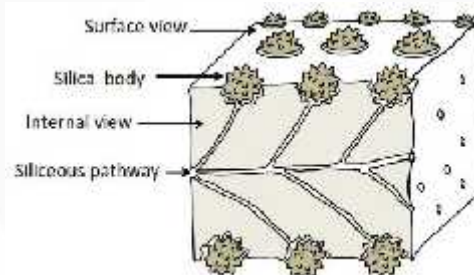
Analisis hasil *pretreatment* dengan SEM dilakukan untuk membuktikan bahwa lignin sudah terdegradasi selama proses *pretreatment*. Sampel yang dianalisa adalah TKKS tanpa perlakuan ultrasonik dan dengan perlakuan ultrasonik dengan perbesaran 1000x.

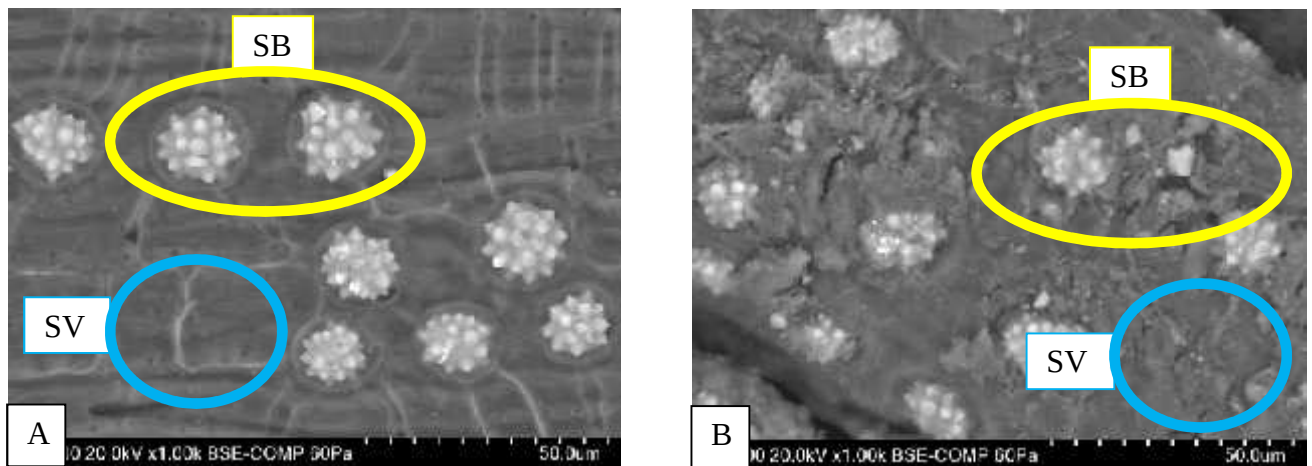
3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Analisis Bahan Baku

Setelah melalui proses pengecilan ukuran sampai 18 mesh, kemudian sampel diukur kadar airnya menggunakan *moisture analyzer* dan diperoleh kadar air sebesar 8,28%. Kadar air yang rendah (kurang dari 10%) bertujuan untuk mengurangi konsumsi energi selama proses *pretreatment* [9]. Pengecilan ukuran TKKS bertujuan untuk membuat proses delignifikasi [10] dan produksi gula lebih efektif pada partikel dengan ukuran yang lebih kecil [11].

3.2. Hasil Mikroskopis Menggunakan Scanning Electrone Microscope



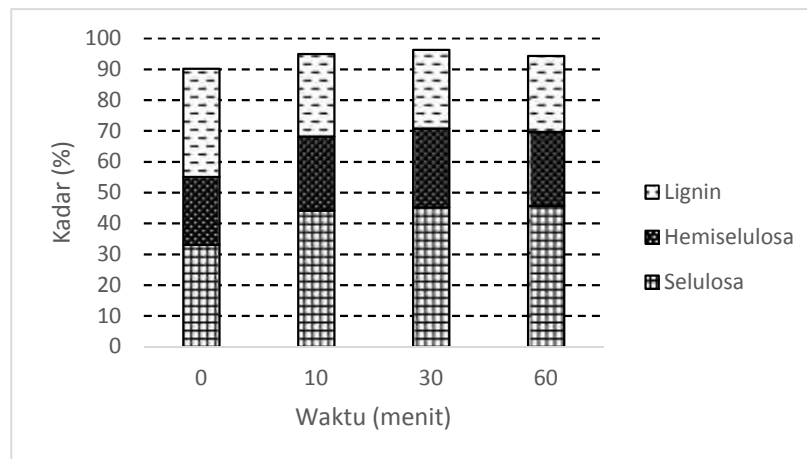


Gambar 3.1 Hasil mikroskopis TKKS (A) tanpa perlakuan ultrasonik (B) perlakuan ultrasonik dengan kondisi amplitudo 90%, waktu 60 menit dan NaOH 0,5M

Pada dasarnya, struktur TKKS halus dan terdiri dari permukaan yang kaku dan berlilin. Kristalinitas derajat tinggi dari selulosa disumbangkan dari kehadiran silika yang tertanam di permukaan. *Pretreatment* bertujuan untuk menghilangkan silika dan mengekspos struktur lignoselulosa untuk meningkatkan laju hidrolisis dalam produksi gula [12]. Pada sampel (A) menunjukkan bahwa TKKS tanpa perlakuan ultrasonik mengandung *silica body* (SB) dan permukaan (SV) yang halus. Sebagian besar *pretreatment* berperan untuk membantu menghilangkan *silica body* dan menampilkan rongga. Pada sampel (B) menunjukkan bahwa TKKS dengan perlakuan ultrasonik kehilangan lebih banyak *silica body* (SB) dan terjadi pembukaan rongga. Ini telah dibuktikan dengan produksi gula yang tinggi dan hilangnya kelompok fungsional lignin dari Spektrofotometer-UV dan HPLC analisis. Kehadiran lignin akan menggabungkan bundel selulosa dan menyediakan area yang halus pada permukaan bundel selulosa. Pada sampel (B) terlihat bahwa permukaan (SV) sudah rusak atau tidak halus lagi. Hal tersebut membuktikan bahwa gelombang ultrasonik dapat memecah dinding sel dan merusak dinding sel sekunder pada lapisan tengah. Perambatan gelombang ultrasonik melalui cairan pada frekuensi 20 kHz dapat menyebabkan kavitasi sehingga berbagai perubahan fisika dan kimia dapat terjadi [7][13].

3.3. Pengaruh Waktu Sonikasi Terhadap Kadar Selulosa, Hemiselulosa dan Lignin

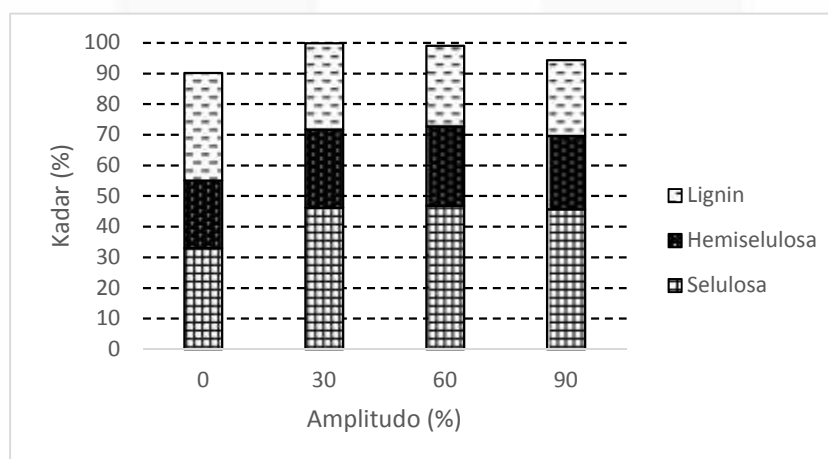
Berdasarkan Gambar 3.2 terlihat kadar selulosa awal sebesar 33,019% dan setelah disonikasi meningkat menjadi 44,156%; 45,264%, 45,676% pada waktu 10, 30 dan 60 menit. Sedangkan kadar lignin berbanding terbalik dengan kadar selulosa dari lignin awal sebesar 35,076% dan setelah disonikasi menurun kadar ligninnya menjadi 26,801%; 25,558% dan 24,771% pada waktu 10, 30 dan 60 menit. Hemiselulosa terjadi peningkatan dari kondisi awal 22,052% menjadi 23,978%, 25,488% dan 23,907%. Dari data tersebut bahwa semakin lama waktu sonikasi, kadar selulosa semakin meningkat. Lamanya proses sonikasi menyebabkan semakin banyaknya gelembung kavitasi yang terbentuk sehingga akan memiliki efek disrupsi sel yang lebih tinggi. Selain itu, penetrasi pelarut terhadap jaringan sel akan semakin tinggi juga lebih banyak gelembung kavitasi yang dapat merusak dinding sel [14]. Selain itu, pada waktu 60 menit, larutan konsentrasi NaOH 0,5 molar sudah terurai semua dan larut dalam air sehingga efektif dalam memecah struktur lignin dan hemiselulosa. Berkurangnya kadar lignin dan hemiselulosa ini menyebabkan peningkatan kadar selulosa [15].



Gambar 3.2 Pengaruh waktu sonikasi TKKS terhadap kadar selulosa, hemiselulosa dan lignin pada kondisi NaOH 0,5 M dan amplitudo 90%

3.4. Pengaruh Amplitudo Sonikasi Terhadap Kadar Selulosa, Hemiselulosa dan Lignin

Berdasarkan histogram pada Gambar 3.3 di mana kadar selulosa awal sebesar 33,019% dan setelah disonikasi pada amplitudo 30%, 60% dan 90% sebesar 46,173%; 46,796%; dan 45,676%. Terlihat bahwa peningkatan kadar selulosa tidak meningkat secara signifikan dengan meningkatnya amplitudo. Sedangkan hemiselulosa terjadi peningkatan sedikit dari 22,052% menjadi 25,544%; 25,901% dan 23,907%. Pola dari hemiselulosa selalu mengikuti peningkatan dari selulosa. Selulosa meningkat maka hemiselulosa pun meningkat. Tetapi berbeda dengan kadar lignin dimana lignin awal sebesar 35,076% dan terjadi penurunan setelah disonikasi pada amplitudo sebesar 30%, 60% dan 90% sebesar 28,132%; 26,341% dan 24,771%. Terlihat bahwa semakin besar amplitudo sonikasi, kadar lignin semakin menurun. Tingginya amplitudo ultrasonik yang melewati media, menyebabkan semakin banyak gelembung yang terbentuk dan pecah. Suhu dan tekanan yang tinggi dalam gelembung menyebabkan gelembung pecah dalam waktu yang singkat sehingga terbentuk gelombang yang bersifat merusak dengan kecepatan tinggi. Hal ini dapat meningkatkan penetrasi pelarut ke dalam jaringan sel dan dapat menghancurkan dinding sel [16].

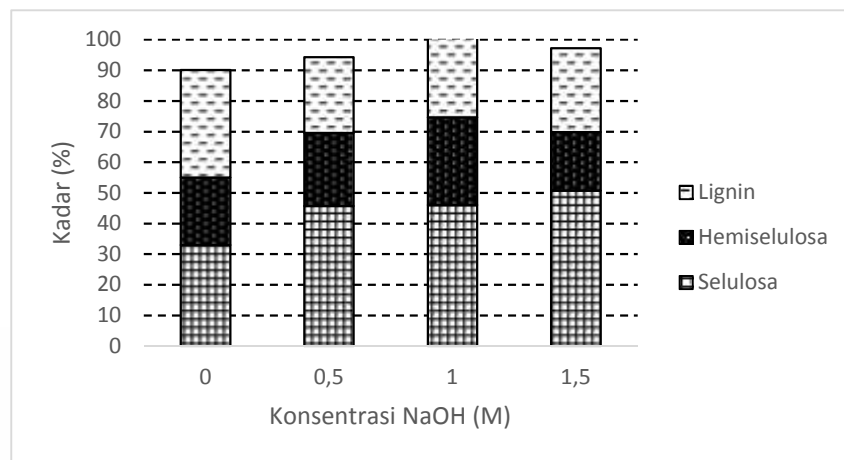


Gambar 3.3 Pengaruh amplitudo sonikasi TKKS terhadap kadar selulosa, hemiselulosa dan lignin pada kondisi NaOH 0,5 M dan waktu 60 menit

3.5. Pengaruh Konsentrasi NaOH Terhadap Kadar Selulosa, Hemiselulosa dan Lignin

Pada gambar 3.4 terlihat histogram berbagai konsentrasi NaOH pada kondisi sonikasi dengan waktu 60 menit dan amplitudo 90% terhadap kadar selulosa, hemiselulosa serta lignin. NaOH pada konsentrasi 0,5; 1 dan 1,5M didapat kadar selulosa sebesar 45,676%; 46,082% dan 50,735% dari selulosa awal sebesar 33,019%. Terjadi peningkatan signifikan pada kadar selulosa dengan meningkatnya konsentrasi NaOH. Berbanding lurus dengan kadar hemiselulosa dimana meningkatnya kadar selulosa pada berbagai konsentrasi NaOH, meningkat juga kadar hemiselulosanya dari 22,052% menjadi 23,907% dan 28,583%. Pada Gambar 3.5 didapat kadar lignin setelah disonikasi sebesar 24,771%; 26,439% dan 27,359% pada konsentrasi NaOH 0,5; 1 dan 1,5M dari kadar lignin sebesar 35,079%. Pada waktu 60 menit, dengan konsentrasi NaOH 0,5 M menghasilkan kadar lignin yang lebih

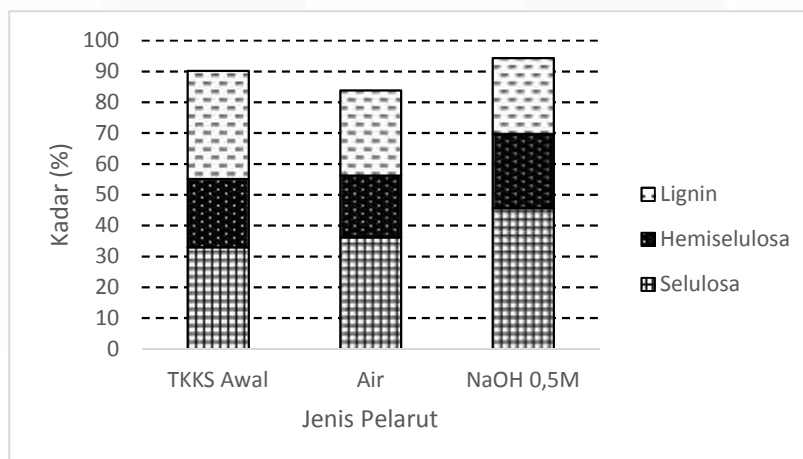
rendah daripada konsentrasi 1 dan 1,5 M. Hal ini terjadi karena pada waktu tersebut, larutan NaOH 0,5 M sudah terurai sempurna dan larut dalam air sehingga efektif dalam memecah struktur lignin [15]. Sedangkan konsentrasi NaOH 1 dan 1,5M sangat pekat sehingga sulit dalam pelarutan dalam campuran TKKS menyebabkan hasil delignisasi tidak optimum [17].



Gambar 3.4 Pengaruh konsentrasi NaOH sonikasi TKKS terhadap kadar selulosa, hemiselulosa dan lignin pada kondisi amplitudo 90% dan waktu 60 menit

3.6. Pengaruh Jenis Pelarut Terhadap Kadar Selulosa, Hemiselulosa dan Lignin

Pada gambar 3.5 didapat kadar selulosa sebesar 36,239% dan 45,676% untuk jenis pelarut air dan NaOH 0,5 M dari selulosa awal sebesar 33,019%. Terjadi peningkatan signifikan pada kadar selulosa yang menggunakan NaOH dibandingkan dengan yang menggunakan air. Peningkatan kadar hemiselulosa terjadi pada penggunaan NaOH dari 22,052% menjadi 23,907% sedangkan dengan menggunakan air terjadi penurunan menjadi 20,034%. Pada gambar 3.6 didapat kadar lignin setelah disonikasi sebesar 27,551% dan 24,771% pada jenis pelarut air dan NaOH 0,5 M dari kadar lignin sebesar 35,079%. Pada kondisi amplitudo 90% dan waktu 60 menit dengan konsentrasi NaOH 0,5 M menghasilkan kadar selulosa yang lebih tinggi dan kadar lignin yang lebih rendah dibandingkan dengan menggunakan air. Hal ini terjadi karena NaOH berfungsi sebagai aktifator atau pelarut dalam proses ini karena dalam proses *pretreatment* natrium hidroksida merupakan peroksida alkali efektif untuk *pretreatment* biomassa [18] serta dapat merusak ikatan antara lignin dengan selulosa [8].



Gambar 3.5 Pengaruh jenis pelarut sonikasi TKKS terhadap kadar selulosa, hemiselulosa dan lignin pada kondisi amplitudo 90% dan waktu 60 menit

3.7. Analisa Konsumsi Energi

Pada tabel 4.1 terlihat bahwa energi meningkat seiring dengan peningkatan waktu dan amplitudo pada sonikator. Secara umum, seiring dengan meningkatnya waktu dan amplitudo pada sonikator, maka energi yang digunakan juga semakin besar sesuai dengan formula $W \text{ (energi)} = P \text{ (daya)} \times t \text{ (waktu)}$. Dari tabel tersebut didapat bahwa energi meningkat seiring dengan peningkatan konsentrasi NaOH. Hal ini sesuai dengan Hukum Kohlrausch bahwa semakin meningkatnya konsentrasi di dalam suatu larutan maka nilai konduktivitasnya akan meningkat pula. Untuk produksi *biofuel*, efisiensi merupakan salah satu tantangan terbesar. Sebagai contoh, untuk *biofuel*

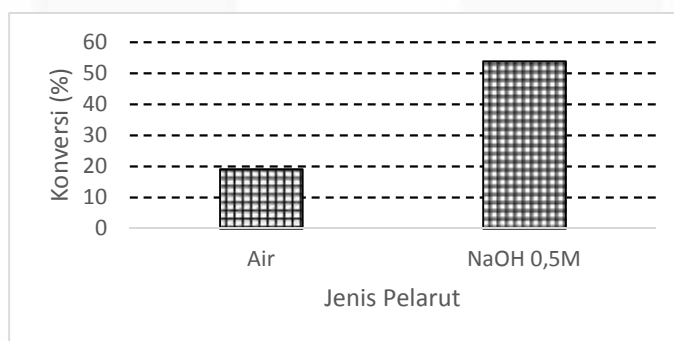
apapun agar menjadi layak, energi yang dihasilkan harus melebihi total energi yang dikeluarkan selama proses produksi. Energi yang digunakan selama proses produksi, menentukan besarnya biaya yang produksi yang dikeluarkan [19].

Tabel 3.1 Konsumsi Energi

Parameter	Energi (joule)
Waktu (NaOH 0,5M A90 Tetap)	
10 menit	54375
30 menit	151043
60 menit	218499
Amplitudo (NaOH 0,5M T60 Tetap)	
30%	56613
60%	164981
90%	218499
Konsentrasi NaOH (A90 T60 Tetap)	
0,5 M	218499
1 M	289676
1,5 M	350470
Jenis Pelarut (A90 T60 Tetap)	
Air	285994
NaOH 0,5 M	218499

3.8. Analisa Konversi

Selama proses *pretreatment*, TKKS akan mengalami penyusutan berat karena lignin terdegradasi selama proses berlangsung. Pada gambar 3.6 terlihat perbedaan nilai konversi yang sangat signifikan yaitu air 19,07% dan NaOH 0,5 M 53,88%. Hal tersebut terjadi karena NaOH dapat merusak ikatan lignin dengan selulosa sehingga lebih banyak lignin yang terdegradasi [8].



Gambar 3.8 Pengaruh jenis pelarut sonikasi TKKS terhadap konversi pada kondisi amplitudo 90% dan waktu 60 menit

4. Kesimpulan

Dari hasil percobaan dalam melihat pengaruh penggunaan ultrasonik dengan penambahan NaOH, terlihat bahwa semakin tinggi amplitudo dan waktu sonikasi maka kadar lignin akan semakin rendah. Namun berbanding terbalik dengan konsentrasi NaOH. Dari hasil analisa menggunakan SEM terlihat bahwa struktur TKKS mengalami perubahan yang terlihat dari *silica body* (SB) dan permukaan (SV) yang mengalami kerusakan setelah disonikasi. Penggunaan NaOH juga membantu dalam merusak ikatan lignin dan selulosa. Hal ini terbukti dari gambar 3.6, di mana kadar lignin setelah disonikasi sebesar 27,551% dan 24,771% pada jenis pelarut air dan NaOH 0,5 M dari kadar lignin sebesar 35,076%. Pada jenis pelarut air dan NaOH 0,5 M didapat kadar selulosa sebesar 36,239% dan 45,676% dari selulosa awal sebesar 33,019%. Terjadi peningkatan signifikan pada kadar selulosa yang menggunakan NaOH dibandingkan dengan yang menggunakan air. Dari berbagai variasi, diperoleh variasi yang paling baik pada kondisi waktu 10 menit, amplitudo 90% dan NaOH 0,5 M dengan kadar selulosa, hemiselulosa dan lignin sebesar 44,156%, 23,978% dan 26,801% dengan konsumsi energi sebesar 54375 joule.

Daftar Pustaka

- [1] Conti, J., Holtberg, P., Beamon, J.A., Napolitano, S., Schaal, A.M., Turnure, J.T., Westfall, L. 2013. *International Energy Outlook 2013*. Outlook 2013. 312.
- [2] Sawin, J.L., Bhattacharya, S.C., Galan, E.M., McCrone, A., Moomaw, W.R., Sims, R., Sonntag-O'Brien, V., Sverrisson, F. 2012. *Renewables 2012 Global Status Report*. Ren21. 1-172.
- [3] Putrasari, Y., Praptijanto, A., Santoso, W.B., Lim, O. 2016. *Resources , policy , and research activities of biofuel in Indonesia : A review*. Energy Reports. 2. 237-245.
- [4] Assegaf, Clevis, F. 2009. *Banana (Musa paradiacia) bioethanol production prospects using method of acid and enzymatic hydrolysis*. 13-25.
- [5] Syafwina, Honda, Y., Watanabe, T., Kuwahara, M. 2002. *Pretreatment of palm oil empty fruit bunch by white-rot fungi for enzymatic saccharification*. Wood Research. 89. 19-20.
- [6] Sudiyani, Y., Styarini, D., Triwahyuni, E., Sudiarmanto, Sembiring, K.C., Aristiawan, Y., Abimanyu, H., Han, M.H. 2013. *Utilization of biomass waste empty fruit bunch fiber of palm oil for bioethanol production using pilot – scale unit*. Energy Procedia. 32. 31-38.
- [7] Yunus, R., Salleh, S.F., Abdullah, N., Biak, D.R.A. 2010. *Effect of ultrasonic pre-treatment on low temperature acid hydrolysis of oil palm empty fruit bunch*. Bioresource Technology. 101 (24). 9792-9796.
- [8] Maryana, R., Ma'rifatun, D., Wheni, A.I., Satriyo, K.W., Rizal, W.A. 2014. *Alkaline Pretreatment on Sugarcane Bagasse for Bioethanol Production*. Energy Procedia. 47. 250-254.
- [9] Alvira, P., Tomas-Pejo, E., Ballesteros, M., Negro, M.J. 2010. *Pretreatment technologies for an efficient bioethanol production process based on enzymatic hydrolysis: A review*. Bioresource Technology. 101 (13). 4851-4861.
- [10] Velmurugan, R., Muthukumar, K. 2012. *Ultrasound-assisted alkaline pretreatment of sugarcane bagasse for fermentable sugar production: Optimization through response surface methodology*. Bioresource Technology. 112. 293-299.
- [11] Esfahani, M.R., Azin, M. 2012. *Pretreatment of sugarcane bagasse by ultrasound and dilute acid*. Asia-Pac. J. Chem. Eng. 7. 274-278.
- [12] Zulkiple, N., Maskat, M.Y., Hassan, O. 2016. *Pretreatment of Oil Palm Empty Fruit Fiber (OPEFB) with Aqueous Ammonia for High Production of Sugar*. Procedia Chem. 18. 155-161.
- [13] Asakura, Y., Nishida, T., Matsuoka, T., Koda, S. 2008. *Effects of ultrasonic frequency and liquid height on sonochemical efficiency of large-scale sonochemical reactors*. Ultrasonics Sonochemistry. 15(3). 244-250.
- [14] Mason, T.J. 1999. *Sonochemistry: current uses and future prospects in the chemical and processing industries*. Philos. Trans. R. Soc. London. A 357. 355-369.
- [15] Elwin, Musthofa, L., Hendrawan, Y. 2014. *Analisis Pengaruh Waktu Pretreatment dan Konsentrasi NaOH terhadap Kandungan Selulosa, Lignin dan Hemiselulosa Eceng Gondok Pada Proses Pretreatment Pembuatan Bioetanol*. Jurnal Keteknik Pertanian Tropis dan Biosistem. 2 (2). 110-116.
- [16] Zhang, Z., Wang, L., Li, D., Jiao, S., Chen, X.D., Mao, Z. 2008. *Ultrasound-assisted extraction of oil from flaxseed*. Separation and Purification Technology. 62. 192-168.
- [17] Subhedar, P.B., Gogate, P.R. 2014. *Alkaline and ultrasound assisted alkaline pretreatment for intensification of delignification process from sustainable raw-material*. Ultrasonics Sonochemistry. 21. 216-225.
- [18] Saha, B.C., Cotta, M.A. 2006. *Ethanol Production From Alkaline Peroxide Pretreated Enzymatically Accharified Wheat Straw*. Biotechnol Prog. 22. 449-453.
- [19] Grewell, D., Montalbo-Lomboy, M., Chand, P. 2013. *Enhancing biofuel production by ultrasonics*. Proc. Mtgs. Acoust. 19. 45091.