

EFISIENSI *PRETREATMENT* DALAM PENGOLAHAN BAMBU MENJADI BIOETANOL

Nissa Maftucha, Rika Amelia, Vilya Syafriana, S.Si., M.Si.

Institut Sains dan Teknologi Nasional

Abstrak

Kebutuhan bahan bakar di Indonesia terus meningkat setiap tahunnya sehingga diperlukan optimalisasi pembaruan energi untuk mengatasi krisis bahan bakar yang mungkin akan terjadi. Salah satu upaya yang dapat dilakukan adalah dengan memanfaatkan tanaman bambu (*Bambusa sp.*) menjadi bioetanol. Namun, dalam pengolahannya diperlukan proses yang cukup panjang dan memakan banyak waktu. Oleh karena itu, tahap *pretreatment* menjadi solusi karena dapat menghemat waktu pada proses hidrolisis dan fermentasi. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan metode *pretreatment* kimia dalam pembuatan bioetanol dari tanaman bambu (*Bambusa sp.*). Metode penelitian yang digunakan adalah studi literatur dengan membandingkan beberapa jurnal yang mengkaji mengenai metode *pretreatment* asam dan metode *pretreatment* basa. Hasil menunjukkan bahwa metode *pretreatment* basa memiliki nilai persentase delignifikasi dan degradasi yang lebih besar dibandingkan dengan *pretreatment* asam. Hal ini disebabkan karena penggunaan reagen basa lebih baik dalam mendelignifikasi dan mampu menyebabkan dekrystalisasi selulosa dan hemiselulosa. Selain itu, *pretreatment* basa tidak memerlukan biaya yang mahal dan dapat mengatasi korosi. Juga, kondisi reaksi yang menguntungkan karena tidak menghasilkan produk samping berupa furfural. Dengan demikian, penggunaan basa sebagai reagen lebih efisien untuk produksi bioetanol dari bambu dibandingkan menggunakan reagen asam.

Kata kunci: *Bambu, Bioetanol, Pretreatment Asam, Pretreatment Basa*

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Pada perkembangan teknologi saat ini, manusia melakukan setiap kegiatan bergantung pada bahan bakar yang berasal dari fosil sebagai sumber energinya, seperti batu bara, gas, dan minyak bumi. Bahan bakar tersebut digunakan dalam berbagai sektor rumah tangga, sektor transportasi, atau pada sektor industri [1]. Kebutuhan energi ini semakin hari semakin meningkat, tetapi tidak sebanding dengan sumber cadangan dari bahan bakar fosil yang semakin menipis kian harinya [2]. Indonesia sendiri berada pada ambang batas dalam krisis bahan bakar. Indonesia sebagai negara berkembang membutuhkan banyak energi. Kebutuhan minyak bumi sekitar 51,66%, gas dengan 28,57%, dan batu bara sekitar 15,34% dan sisanya berasal dari tenaga air dan panas bumi [3]. Upaya yang dapat dilakukan dalam mencegah krisis bahan bakar fosil dengan melakukan pembaruan energi yang semula berasal dari fosil menjadi sumber energi terbarukan (*renewable*), sehingga sumber energi yang dihasilkan akan selalu tersedia. Sebagai salah satu negara mega biodiversitas, Indonesia mempunyai potensi yang sangat besar dalam mengembangkan sumber energi terbarukan berupa biomassa karena melimpahnya sumber daya alam yang dimiliki, baik dari sektor pertanian, kehutanan, ataupun limbah biomassa industri. Penggunaan biomassa telah mengalami banyak peningkatan di berbagai negara berkembang yang penggunaannya untuk menghindari emisi karbon dari bahan bakar fosil. Tkemaladze dan Makhshvili (2016) menyatakan bahwa efek rumah kaca meningkat setiap tahunnya karena penggunaan bahan bakar fosil dan emisi karbon dioksida yang dihasilkannya memenuhi atmosfer bumi, sedangkan pelepasan karbon dioksida oleh biomassa tidak akan menyebabkan peningkatan jumlah karbon dioksida di atmosfer karena asalnya dari biogenik [4]. Salah satu sumber biomassa yang dapat dikembangkan adalah tanaman bambu. Bambu (*Bambusa* sp.) merupakan tanaman yang tumbuh di iklim tropis dan subtropis dengan jumlah spesiesnya mencapai 1.250 spesies.

Suburnya pertumbuhan tanaman bambu di hampir seluruh dunia dipengaruhi oleh faktor kelembaban udara yang harus di atas 80%, suhu udara antara 8,8°C - 36°C, dan curah hujan minimal 1.020 mm/tahun. Bambu diketahui sebagai tanaman dengan pertumbuhan yang cepat dengan pertumbuhan rata-rata sekitar 0,9-1,5 m dalam setahun. Bambu memasuki tahap dewasa pada umur 4-5 tahun yang ditandai dengan sistem perakaran yang kuat. Sejak dahulu, kegunaan bambu bagi kehidupan sehari-hari adalah sebagai bahan pangan bagi manusia dan hewan, fiber, dan *furniture*. Selain dari pertumbuhan bambu yang sangat cepat, bambu juga dikatakan memiliki tingkat

produktivitas biomassa yang tinggi. Meskipun kegunaannya belum menunjukkan manfaat secara global, saat ini telah dikembangkan biofuel dengan memanfaatkan tanaman bambu [5]. Diketahui sekitar 2-4 kg hasil bambu menghasilkan listrik berkisar 1 kWh yang setara dengan 1 liter diesel [6]. Dalam skala industri penggunaan bambu yang dilihat dari nilai pemanasan berkisar 17,58 kJ/kg yang setara dengan sumber biomassa lain seperti sekam padi, cangkang sawit, batang jagung, dan akasia [7]. Tahapan untuk memproduksi bioetanol berdasarkan bahan yang mengandung lignoselulosa, yaitu tahap *pretreatment*, hidrolisis, fermentasi dan distilasi [8]. Proses *pretreatment* merupakan tahapan yang bertujuan untuk meningkatkan derajat cerna enzimatisnya. Metode ini digunakan untuk meningkatkan hasil konversi selulosa menjadi glukosa dalam proses produksi bioetanol [9]. Terdapat berbagai metode yang dapat digunakan untuk proses *pretreatment* seperti *pretreatment* kimia dengan asam atau basa, *pretreatment* enzimatik, *pretreatment* fisika, dan lain sebagainya. Dari berbagai metode yang ada, dipilih *pretreatment* kimia dengan basa sebagai metode yang dikatakan jauh lebih aman secara reaksi hingga efek. Berdasarkan hal ini penggunaan bambu sebagai sumber dalam bentuk bioetanol harus dikembangkan menjadi sumber energi terbarukan.

B. Rumusan Masalah

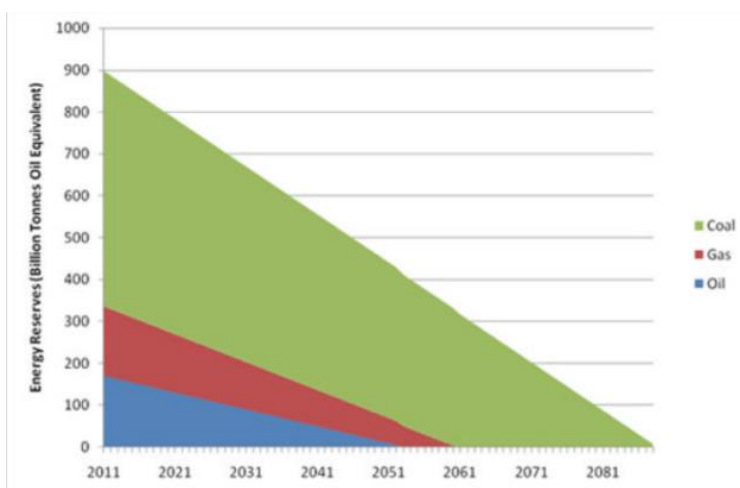
1. Apakah terdapat pengaruh perbedaan penggunaan *pretreatment* kimia antara *pretreatment* asam dan *pretreatment* basa terhadap ekstrak bambu (*Bambusa sp.*)?
2. Bagaimanakah efisiensi *pretreatment* asam dan *pretreatment* basa dalam mendelignifikasi dan mendekristalisasi selulosa dan hemiselulosa yang ditunjukkan terhadap ekstrak bambu (*Bambusa sp.*)?

C. Tujuan

1. Mengetahui adanya pengaruh perbedaan penggunaan *pretreatment* kimia antara *pretreatment* asam dan *pretreatment* basa terhadap ekstrak bambu (*Bambusa sp.*).
2. Mengetahui efisiensi *pretreatment* asam dan *pretreatment* basa dalam mendelignifikasi dan mendekristalisasi selulosa dan hemiselulosa yang ditunjukkan terhadap ekstrak bambu (*Bambusa sp.*).

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Saat ini, bumi mengalami krisis energi yang diakibatkan peningkatan permintaan energi secara global, ketergantungan akan bahan bakar yang berasal dari fosil untuk penggunaan pembangkit energi dan transportasi, serta peningkatan populasi dunia yang mencapai lebih dari tujuh miliar jiwa [10]. Energi berbasis fosil telah digunakan dalam kurun waktu lebih dari 200 dekade. Revolusi industri tahun 1700-an sampai tahun 1800-an telah menggerakkan kehidupan pada masa itu [11]. Puncak krisis energi yang terjadi sekitar tahun 1970-an membuat dunia mengalami ancaman akan sulitnya mencari bahan bakar fosil untuk digunakan. Data menyebutkan, jika kejadian ini terus berlangsung maka diperkirakan energi yang berasal dari fosil akan habis (Gambar 2.1). Berdasarkan Gambar 2.1 dikatakan bahwa cadangan minyak akan habis pada tahun 2052, gas akan habis pada tahun 2060, dan batu bara akan habis pada 2090 [12].



Gambar 2.1 Cadangan energi yang tersisa pada batubara, gas, dan minyak (Sumber: <https://mahb.stanford.edu/library-item/fossil-fuels-run/>)

Selain terjadinya krisis energi, penggunaan energi berbasis fosil mengakibatkan terjadinya pemanasan iklim. Gas berbahaya yang terbentuk akibat pembakaran batu bara, gas, dan oli akan terjebak dalam atmosfer dan menyebabkan pemanasan global. Selain itu, emisi karbon dioksida (CO_2) yang dihasilkan dari aktivitas tersebut berperan besar dalam potensi perubahan iklim [13]. Sumber *renewable energy* yang paling menjanjikan adalah biomassa. Biomassa adalah bahan organik dari organisme hidup yang diproduksi secara langsung maupun tidak langsung [14]. Selain tumbuhan, biomassa juga dapat berasal dari hewan. Menurut EIA, energi kimia yang terkandung dalam biomassa dihasilkan melalui proses fotosintesis. Biomassa dapat diolah melalui berbagai cara seperti pemanasan atau dikonversi menjadi cairan dan gas terbarukan yang terdiri atas berbagai proses. Energi kimia tersebut dapat digunakan untuk menghasilkan panas atau

dikonversi sebagai listrik. Biomassa yang dihasilkan dari sisaan bambu telah banyak digunakan untuk produksi bahan bakar, fiber karbon, *syngas*, glukosa, metana, dan bioetanol [15]. Bioetanol yang berasal dari hasil produksi teknologi kayu *non-edible* atau biomassa herba dalam bentuk limbah pertanian disebut dengan etanol selulosa sebagai etanol generasi kedua [16]. Penelitian Bada *et al.* (2014) menyatakan bambu baku (*Bambusa multiplex*) memiliki nilai sebagai bahan bakar tertinggi dengan nilai suhu pengapian paling rendah [15].

Untuk membuat bioetanol menggunakan bahan biomassa diperlukan tiga proses yang besar, yaitu *pretreatment*, hidrolisis, dan fermentasi. Bioetanol yang baik dibuat dari bahan yang mengandung lignoselulosa [17]. Lignoselulosa merupakan sumber organik paling melimpah di bumi yang komponen utamanya tersusun dari dinding sel tumbuhan. Persentase kandungan selulosa, hemiselulosa, dan lignin bervariasi antar bahan lignoselulosa berkisar antara 20-60% untuk selulosa, 20-40% hemiselulosa, dan 15-25% lignin [18]. Selulosa tersusun atas rantai linear glukosa yang dihubungkan oleh β -glikosidat dengan berat molekul tinggi. Besarnya ikatan hidrogen dalam selulosa membuatnya stabil, sehingga tahan terhadap pemecahan secara kimia atau biologi. Hemiselulosa adalah rantai bercabang banyak yang terdiri dari beberapa gula dan asam uronat dengan berat molekul lebih rendah. Lignin merupakan polimer aromatik dengan struktur bercabang dan amorf serta mempunyai ikatan kovalen maupun non-kovalen dengan hemiselulosa. Keterkaitan ini membentuk matriks padat yang mengelilingi serat mikro selulosa sehingga memberikan struktur yang utuh dari tumbuhan. Oleh karena itu, perlakuan awal berupa *pretreatment* yang tidak cocok akan mengganggu struktur utuh dari lignoselulosa [19].

Tahap *pretreatment* adalah proses peningkatan mutu bioetanol dari selulosa dan hemiselulosa dengan cara meminimalisasi senyawa yang mampu memblokir laju hidrolisis biomassa. Tahap *pretreatment* bertujuan agar biomassa lignoselulosa dapat melakukan reaksi enzimatik pada proses sakarifikasi dengan biaya yang wajar [20]. Tahap *pretreatment* untuk lignoselulosa akan menghasilkan perubahan pada material berupa komposisi kimia, grup asetil, kristalinitas, derajat polimerisasi, hingga aksesibilitas [19]. Tahap ini dinilai penting karena dapat memengaruhi keseluruhan biaya operasional produksi bioetanol sehingga diperlukan pemilihan metode *pretreatment* yang sesuai. Sebaliknya, jika pemilihan metode *pretreatment* tidak sesuai maka hemiselulosa dan lignin dalam biomassa akan terdegradasi secara parsial dan melahirkan senyawa yang beracun [21].

Pemilihan metode *pretreatment* membutuhkan pengetahuan yang luas mengenai komposisi kimia dari biomassa, proses, dan pengolahan yang dilakukan hingga

mendapatkan produk sesuai kebutuhan pasar dalam segi kualitas, nilai, serta dampak bagi lingkungan. Sebagai contoh, terdapat metode yang memudahkan bahan selulosa agar dapat dijangkau untuk menghidrolisis enzim, tetapi terjadi pelepasan senyawa penghambat yang harus dihilangkan sebelum dilakukan proses fermentasi dan proses yang lebih lanjut. Beberapa metode diketahui dapat memproduksi bahan selulosa dengan kandungan lignin sehingga menyebabkan adsorpsi enzim tidak produktif dan bersifat merugikan [22]. Metode lain menghasilkan nilai selulosa yang lebih tinggi, tetapi memiliki kelemahan seperti biaya produksi yang mahal dan tidak efisien dalam prosesnya. Oleh karena itu, dalam pemilihan metode perlu diperhatikan bukan hanya untuk keefektifan hidrolisis enzimatis, tetapi juga harus diperhatikan reaksi samping yang tidak diinginkan seperti lignin kepada komponen penghambat [20].

Metode *pretreatment* memiliki perbedaan dari sisi efisiensi dan efektivitas dalam penggunaannya. Metode yang umum digunakan adalah metode *pretreatment* kimiawi. Metode ini mudah digunakan, lebih efektif, dan mempunyai pemakaian energi yang cukup rendah. Dalam *pretreatment* kimiawi, terdapat dua dari enam *pretreatment* yang memiliki keuntungan lebih besar dibanding yang lainnya, yaitu *pretreatment* asam dan *pretreatment* basa [23]. Metode ini bertujuan untuk memodifikasi atau menghilangkan lignin dan hemiselulosa, serta mengurangi kristalinasi selulosa. Berbagai senyawa kimia telah diketahui memberikan efek yang signifikan pada keutuhan struktur lignoselulosa, tidak memberikan residu yang bersifat toksik selama proses, dan reaksi dilakukan pada tekanan dan suhu ruangan [24].

Berdasarkan Clausen dan Gaddy (1993), biomassa lignoselulosa yang keras dan padat dapat diubah menjadi monosakarida dengan cepat melalui proses hidrolisis asam sulfat pekat pada suhu 70°C dan konsentrasi substrat sebesar 2%. Akan tetapi, konsentrasi yang dibutuhkan agar efisiensi pemulihan gula tertinggi menjadi monosakarida hanya kurang dari 1% [25]. Sebaliknya, menurut Qin *et al.* (2012) bahwa *pretreatment* menggunakan asam organik encer terhadap bambu memiliki efektivitas hidrolisis lebih tinggi dibanding asam non organik encer [26]. Di sisi lain, kadar selulosa mengalami penurunan akibat pengaruh perbedaan natrium hidroksida yang diberikan terhadap bambu sebesar 3,71% pada tekanan absolut 3 bar [27].

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

A. Teknik Pengumpulan Data

Data yang digunakan didapat dari hasil penelitian yang sudah dilakukan dan dipublikasikan dalam jurnal online, baik nasional maupun internasional. Dalam studi literatur ini, dilakukan pencarian jurnal online menggunakan search engine Research Gate, Elsevier, dan Scholar Google dengan kata kunci alkaline pretreatment, acid pretreatment, dan pretreatment of bamboo.

Proses pengumpulan data didasarkan pada ketentuan penulis terhadap jurnal online yang diambil. Adapun kriteria pengumpulan data sebagai berikut:

1. Tahun sumber literatur yang diambil terdapat pada rentang 2011-2021 dan keterkaitan topik karya tulis ini dengan pembahasan pada jurnal.
2. Strategi pengumpulan data menggunakan situs yang terakreditasi, seperti Research Gate, Elsevier, dan Scholar Google.
3. Menilai abstrak pada jurnal apakah tujuan dan pembahasan sesuai dengan topik karya ilmiah.
4. Melakukan pengumpulan data berdasarkan *full text* jurnal.

B. Teknik Pengolahan Data

Teknik pengolahan data yang digunakan adalah teknik deskriptif dan komparatif dengan pendekatan secara kualitatif menggunakan metode studi literatur. Data yang telah dikumpulkan dari sumber rujukan dideskripsikan secara jelas dan rinci pada bagian tinjauan pustaka. Selanjutnya, data diidentifikasi untuk mendukung konsep dan teori yang telah diuraikan. Data dianalisis dengan membandingkan informasi yang terdapat dalam data terkait masalah antara perbedaan dari beberapa data sehingga masalah mengerucut dan terperinci dan menghasilkan benang merah dari masalah yang dibahas. Semua data yang telah dikumpulkan sesuai topik karya ilmiah disusun sehingga menggambarkan motif sebuah kasus sehingga data tersebut dapat disimpulkan.

C. Kerangka Berpikir

Konsep dalam studi literatur ini adalah dengan membandingkan perbedaan penggunaan *pretreatment* asam dan *pretreatment* basa yang juga menghasilkan perbedaan delignifikasi, degradasi, dan dekrystalisasi hemiselulosa dan selulosa. Keuntungan dan kelemahan dari masing-masing *pretreatment* dijadikan sebagai acuan dasar untuk proses *pretreatment* yang menghasilkan bioetanol yang berkualitas dan ramah lingkungan.

Gagasan ini diharap dapat membantu masyarakat Indonesia dalam pemanfaatan bioetanol dari bambu (*Bambusa* sp.) dengan proses *pretreatment* kimia yang cukup menguntungkan dari berbagai segi, baik ekonomi, lingkungan, dan proses pengolahannya. Di samping itu, dengan memanfaatkan bambu sebagai bioetanol generasi kedua dapat membantu menyelesaikan masalah ketersediaan bahan bakar fosil yang semakin menipis.

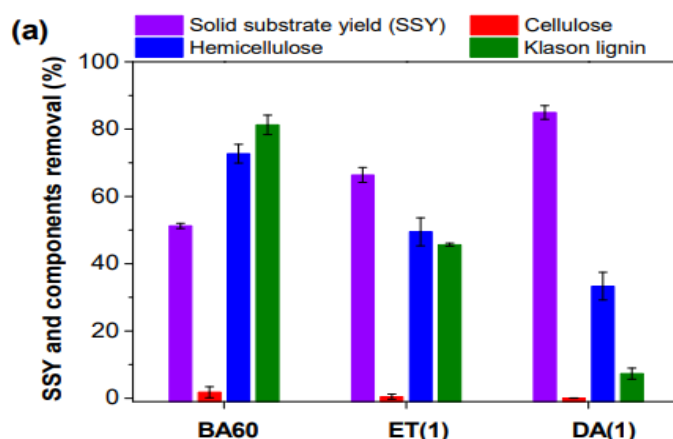
BAB IV

PEMBAHASAN

Pretreatment biomassa yang mengandung lignoselulosa telah dilakukan secara global dalam pembuatan bioetanol. Biomassa lignoselulosa sering digunakan karena merupakan produk samping pertanian yang jarang sekali dimanfaatkan walaupun memiliki potensi yang cukup menjanjikan. Selain itu, pengembangan bioetanol dari biomassa lignoselulosa yang merupakan generasi kedua memiliki banyak kelebihan daripada bioetanol dari tanaman pangan. Bioetanol generasi pertama memiliki masalah utama, yaitu emisi gas rumah kaca dan meningkatnya harga pangan. Sebaliknya, biomassa lignoselulosa lebih ekonomis karena merupakan produk samping pertanian atau sampah hutan sehingga lebih ramah lingkungan [28]. Terdapat beberapa faktor yang dapat memengaruhi konversi biomassa menjadi gula yang dapat difermentasi, yaitu komposisi biomassa itu sendiri harus mengandung sejumlah polisakarida yang dapat dipecah menjadi senyawa yang lebih kecil. Selain itu, metode yang digunakan dalam *pretreatment* sangat berpengaruh dalam konversi biomassa agar mendapat hasil yang diinginkan. Penggunaan reagen asam dan reagen basa umum digunakan dalam metode *pretreatment* kimia [8]. *Pretreatment* kimia dengan reagen asam diketahui memberikan efek yang kuat pada hemiselulosa dan lignin jika dibandingkan pada struktur kristalin selulosa. *Pretreatment* ini bertujuan untuk memecah struktur kaku lignoselulosa agar hemiselulosa yang larut dapat membuat enzim selulose di dalamnya menjangkau struktur selulosa. Pengaplikasian *pretreatment* asam bisa menggunakan asam pekat atau asam encer [29]. Asam organik atau asam anorganik seperti asam nitrat (HNO_3), asam fosfat (H_3PO_4), asam asetat, dan asam maleat dapat digunakan walaupun asam sulfat (H_2SO_4) dan asam klorida (HCl), merupakan jenis yang paling sering digunakan untuk metode *pretreatment* substrat [29].

Berdasarkan Zhao *et al.* (2009), *pretreatment* asam menggunakan asam asetat dan asam sulfat, dimana serbuk bambu diekstraksi menggunakan air-etanol dan dikeringkan menggunakan oven. Selanjutnya, ekstrak dicampur menggunakan asam asetat dan asam sulfat pada suhu 180°C selama 40 menit. Hasil menunjukkan bahwa asam asetat lebih

efektif mengurangi kadar hemiselulosa dan selulosa dibanding dengan asam sulfat. Meskipun demikian, keduanya sama-sama mampu mendelignifikasi sehingga kadar lignin pada ekstrak bambu mengalami penyusutan sebesar 34%. Hal ini disebabkan karena asam organik dapat meningkatkan aksesibilitas luas permukaan substrat, solubilisasi hemiselulosa dan lignin, serta mengalterasi struktur lignin anorganik [30]. Di sisi lain, Luo *et al.* (2020) melakukan penelitiannya dengan asam benzena sulfonat sebagai reagen yang mulanya serbuk bambu dilarutkan dengan air deionisasi dan dicampurkan dengan asam benzena sulfonat. Diketahui kandungan massa dari asam benzena sulfonat berkisar 0-90%, dengan suhu sekitar 50-110°C selama 30-60 menit mengalami penurunan. Hasil menunjukkan bahwa terjadi penghilangan senyawa non selulosa (lignin dan hemiselulosa) dari bambu yang cukup tinggi jika dibandingkan dengan penggunaan asam lainnya seperti asam etanol dan asam encer. Akan tetapi, *pretreatment* dengan menggunakan asam benzena sulfonat pada suhu tinggi tidak hanya menyebabkan kondensasi lignin, tetapi juga deposisi dari lignin yang terkondensasi [31].



Gambar 4.1 Efek perbedaan pretreatment asam benzenosulfonik (BA60), asam etanol (ET), dan asam encer (DA) [31].

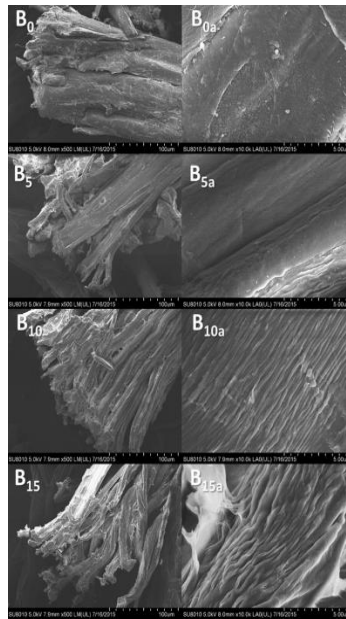
Penerapan *pretreatment* asam menggunakan reagen asam encer lebih digemari untuk *pretreatment* lignoselulosa. Hal ini disebabkan karena asam encer dapat diproduksi dalam skala besar. Metode ini memiliki keuntungan dalam efisiensi waktu karena prosesnya dapat menggunakan suhu tinggi sehingga waktu yang dibutuhkan hanya singkat. Pada prinsipnya, *pretreatment* ini bekerja bukan hanya untuk melarutkan hemiselulosa, tetapi juga mengonversinya menjadi gula [21]. Asam encer mampu memberikan kandungan selulosa tinggi, tetapi asam encer kurang efektif dalam menghilangkan lignin dibandingkan dengan metode basa. Netralisasi dari senyawa yang di *pretreatment* akan menciptakan limbah padat, meskipun perlu untuk meningkatkan proses fermentasi hilir [32]. Maka dari itu, penggunaan *pretreatment* dengan reagen asam dinilai tidak efisien dalam prosesnya. Sementara itu, penggunaan asam pekat pada

pretreatment lignoselulosa kurang disukai dalam proses produksi bioetanol karena dapat memberikan peningkatan senyawa inhibisi. Selain itu, akan menghasilkan reaksi samping berupa furfural dan menimbulkan korosi pada peralatan yang digunakan, serta sulit dilakukannya *recovery* asam [21].

Selanjutnya, *pretreatment* basa mampu mendegradasi ester dan glikosidik, sehingga terjadi perubahan struktur lignin, serta mampu mendekristalisasi selulosa secara parsial. *Pretreatment* basa juga mampu memengaruhi kerja dinding sel sehingga hemiselulosa dan lignin dapat melarut. Di samping itu, penggunaan *pretreatment* basa dalam pengolahan biomassa lignoselulosa dapat mendekristalisasi selulosa dan memutus ikatan α -eter antara lignin dan hemiselulosa. Metode *pretreatment* basa lebih sering menggunakan larutan natrium hidroksida (NaOH), kalium hidroksida (KOH), kalsium hidroksida ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), atau amonium hidroksida (NH_4OH). Tahap pertama yang perlu dilakukan dalam metode ini adalah dengan merendam bambu dalam larutan basa pada suhu dan waktu yang telah ditentukan. Selanjutnya, sebelum memasuki proses hidrolisis enzimatik perlu dilakukan netralisasi dengan tujuan menghilangkan lignin dan zat inhibitor seperti garam, asam fenolik, dan aldehida [28].

Pretreatment basa lebih efisien dalam menghilangkan kadar hemiselulosa, lignin, dan/atau lignin dalam biomassa yang mengandung lignoselulosa. Berdasarkan Chen *et al.* (2016), serbuk bambu diekstrak dengan 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30%, dan 35% larutan NaOH pada suhu 60°C selama 4 jam. Tahap selanjutnya adalah proses filtrasi yang menghasilkan filtrat, lalu dicuci dengan air dan dikeringkan menggunakan oven. Setelah kering, ekstrak bambu diberi label B₅, B₁₀, B₁₅, B₂₀, B₂₅, B₃₀, B₃₅. Hal ini didukung dengan pernyataan Viell (2014) yang mengatakan bahwa struktur lignoselulosa dapat dihilangkan dengan *pretreatment* basa yang dilakukan pada suhu 60°C selama 4 jam [33]. Berdasarkan penelitian yang dilakukan Chen (2016) menunjukkan bahwa *pretreatment* basa terbukti mengurangi kadar hemiselulosa dan lignin. Hemiselulosa mengalami penurunan kadar dari 22,13% menjadi 10,28-16,98% dengan perbedaan perlakuan konsentrasi. Sementara itu, lignin berkurang dari 27,14% menjadi 17,57-22,98% [34]. Hal ini disebabkan karena terjadi permisahan antara ikatan α -aril eter dan β -aril eter pada lignin dan glikosida dalam hemiselulosa sehingga kadar hemiselulosa dan lignin berkurang. *Pretreatment* basa dengan menggunakan berbagai konsentrasi NaOH terbukti meningkatkan kemampuan delignifikasi ekstrak batang bambu seiring meningkatnya konsentrasi yang digunakan. Sementara itu, jumlah ekstrak batang bambu mengalami pengurangan dengan semakin tingginya konsentrasi NaOH yang disebabkan karena terjadi penghilangan kadar lignin dan hemiselulosa [35]. Berdasarkan Gambar 4.2 menunjukkan mikroskop SEM terhadap ekstrak bambu yang diberi perlakuan dan tanpa

perlakuan dari *pretreatment* basa [34].



Gambar 4.2 Mikrograf SEM pada serbuk bambu [34].

Dari Gambar 4.2, dapat dilihat perbedaan antara serbuk bambu yang diberi *pretreatment* basa (B₀-B₁₅) dan yang tanpa pemberian *pretreatment* basa (B_{0a}-B_{15a}). Setelah dilakukan *pretreatment* basa, serat mengalami kerusakan sehingga zat perekat antar fibril menghilang. Hal ini berlanjut sehingga fibril tidak menyatu dan terpisah satu sama lain sehingga fibril menjadi terisolasi. Selain itu, permukaan pada fibril menjadi sedikit kasar dan keriput. Sebaliknya, serbuk bambu yang tidak diberi perlakuan terlihat lebih halus pada permukaannya. Pengupasan dan kerusakan pada fibril dianggap terisolasinya fibril sehingga luas permukaan akan meningkat selama *pretreatment* basa [34]. Pada dasarnya, perbedaan larutan basa yang digunakan untuk *pretreatment* akan menghasilkan perbedaan nilai hasil reaksi. Penggunaan basa kuat akan menunjukkan nilai yang lebih besar dengan suhu yang sama (50°C). Hal ini ditunjukkan pada Tabel 4.1, bahwa nilai ekstrak bambu dengan (CH₃CH₂)₃N 1 M lebih tinggi dibandingkan larutan lainnya dengan nilai sebesar 6,1%, sedangkan nilai terendah yaitu larutan Ba(OH)₂ dengan nilai 5,2%. Dalam hal ini, (CH₃CH₂)₃N memiliki nilai tertinggi disebabkan karena (CH₃CH₂)₃N akan meninggalkan hasil berupa trietilamin HCl jika dilakukan pengasaman. Tak hanya itu, nilai hasil yang diperoleh H₁, H₂, dan H₃ juga merupakan nilai tertinggi karena NaOH, KOH, dan LiOH mampu memutus ikatan ester antara lignin dan hemiselulosa melalui proses hidrolisis ikatan uronat. Selain itu, akan terjadi penurunan kristalinitas akibat pembengkakan selulosa sehingga akan terjadi pemisahan hemiselulosa dan lignin [36].

Tabel 4.1 Nilai hemiselulosa terlarut selama *pretreatment* dengan berbagai larutan basa pada 50°C selama 3 jam [35]

Fraksi	Nilai hasil (% dry matter)
H ₁ ekstrak dengan 1 M NaOH	6,4
H ₂ ekstrak dengan 1 M KOH	6,0
H ₃ ekstrak dengan 1 M LiOH	7,2
H ₄ ekstrak dengan 1 M NH ₃ .H ₂ O	5,0
H ₅ ekstrak dengan 1 M (CH ₃ CH ₂) ₃ N	6,1
H ₆ ekstrak dengan 1 M Ca(OH) ₂	4,2
H₇ ekstrak dengan 1 M Ba(OH)₂	5,2

Sumber: Wen *et al*, 2011

Di samping itu, terdapat beberapa kelemahan *pretreatment* basa, yaitu perlunya netralisasi serat hasil *pretreatment* menggunakan energi yang cukup tinggi, mudah hilangnya kadar hemiselulosa pada saat netralisasi, dan serat hasil delignifikasi cenderung bersifat hidrofilik dan kental sehingga sedikit sulit untuk ke tahap selanjutnya. Walaupun demikian, kelemahan tersebut masih bisa diatasi dengan mengurangi penggunaan alkali selama ekstraksi, menggunakan teknik intensifikasi agar hasil optimal seperti menggunakan iradiasi *microwave*, dan melakukan hidrolisis pada tahap terendah dari substrat total hasil delignifikasi [22]. Secara keseluruhan, perbedaan larutan dalam *pretreatment* basa menunjukkan perbedaan dalam melarutkan dan mengurai dinding sel sehingga dapat menembus dinding sel. Basa kuat mampu mensolubilisasi hemiselulosa lebih banyak daripada basa lemah. *Pretreatment* basa lebih efektif dalam mengurangi kadar lignin, serta meningkatkan porositas substrat dan hidrolisis enzimatis selulosa dibandingkan dengan *pretreatment* asam. Selain itu, terjadi deasetilasi pada struktur bambu dan mampu menghilangkan penghambatan gugus asetil pada hidrolisis enzimatis, sehingga meningkatkan aksesibilitas selulosa selama perusakan dinding sel. Degradasi gula dan masalah korosi pada *pretreatment* basa lebih rendah jika dibandingkan dengan *pretreatment* asam [30].

BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

Terdapat pengaruh dari perbedaan penggunaan *pretreatment* kimia antara *pretreatment* asam dan *pretreatment* basa terhadap ekstrak bambu (*Bambusa* sp.). Efisiensi *pretreatment* basa dalam mendelignifikasi dan mende kristalisasi selulosa dan hemiselulosa ditunjukkan lebih baik terhadap ekstrak bambu (*Bambusa* sp.) dibandingkan dengan *pretreatment* asam. Dengan kata lain, *pretreatment* basa lebih efisien dalam

pengolahan bambu (*Bambusa sp.*) sebagai bioetanol.

B. Saran

Perlu dikaji lebih mendalam mengenai kelemahan *pretreatment* basa yang terdapat dalam pembahasan dilihat berdasarkan rekomendasi yang menjadi solusi dari permasalahan ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Holt and I. J. Pengelly, "ITS and renewable energy," *15th World Congr. Intell. Transp. Syst. ITS Am. Annu. Meet. 2008*, vol. 6, pp. 3854–3862, 2008, doi: 10.1049/ic.2008.0789.
- [2] J. S. Setyono, F. H. Mardiansjah, and M. febrina K. Astuti, "Potensi pengembangan energi baru dan energi terbarukan di kota semarang," *Riptek*, vol. 13, no. 2, pp. 177–186, 2019.
- [3] H. Abimanyu *et al.*, *Konversi Biomassa untuk Energi Alternatif di Indonesia: Tinjauan Sumber Daya, Teknologi, Manajemen, dan Kebijakan*. 2014.
- [4] A. Tursi, "A review on biomass: Importance, chemistry, classification, and conversion," *Biofuel Res. J.*, vol. 6, no. 2, pp. 962–979, 2019, doi: 10.18331/BRJ2019.6.2.3.
- [5] X. Song *et al.*, "Carbon sequestration by Chinese bamboo forests and their ecological benefits: Assessment of potential, problems, and future challenges," *Environ. Rev.*, vol. 19, no. 1, pp. 418–428, 2011, doi: 10.1139/a11-015.
- [6] Aisman, "KAJIAN DASAR POTENSI ENERGI LISTRIK BERBASIS BIOMASA BAMBUNYU DI KABUPATEN KEPULAUAN MENTAWAI," *J. Agroindustri*, vol. 6, no. 2, pp. 65–72, 2016.
- [7] R. Sharma, J. Wahono, and H. Baral, "Bamboo as an alternative bioenergy crop and powerful ally for land restoration in Indonesia," *Sustain.*, vol. 10, no. 12, pp. 1–10, 2018, doi: 10.3390/su10124367.
- [8] M. R. Hidayat, "Teknologi Pretreatment Bahan Lignoselulosa," *Biopropal Ind.*, vol. 4, no. 1, pp. 33–48, 2013.
- [9] Z. Li, Z. Jiang, and X. P. Fei, Zhiyong Cai, "Ethanol Pretreatment of Bamboo with Dilute Acid for Efficient Enzymatic Saccharification," *Proc. 55th Int. Conv. Soc. Wood Sci. Technol.*, pp. 1–9, 2012.
- [10] E. D. Coyle and R. A. Simmons, *Understanding the Global Energy Crisis*. 2014.
- [11] P. K. Ozili, "Global energy crisis : impact on the global economy," no. December, 2021.
- [12] L. Parinduri and T. Parinduri, "Konversi Biomassa Sebagai Sumber Energi Terbarukan," *JET (Journal Electr. Technol.)*, vol. 5, no. 2, pp. 88–92, 2020.
- [13] A. M. Omer, "The Energy Crisis , the Role of Renewable and Global Warming," *Greener J. Environ. Manag. Public Saf.*, vol. 1, no. 1, pp. 38–70, 2021.
- [14] J. Ness and B. Moghtaderi, "Biomass and bio-energy," *Fuel Energy Abstr.*, vol. 44, no. 3, p. 158, 2003, doi: 10.1016/s0140-6701(03)81796-4.
- [15] L. D. Lin, F. C. Chang, C. H. Ko, and C. T. Wang, "Bamboo-Derived Fuel from *Dendrocalamus latiflorus*, *Phyllostachys makinoi*, and *Phyllostachys pubescens* Waste," *BioResources*, vol. 11, no. 4, pp. 8425–8434, 2016, doi:

- 10.15376/BIORES.11.4.8425-8434.
- [16] T. Koga, "Development of Cellulosic Ethanol Production Technology ~ Results of pilot test for high-yield bioethanol process ~," vol. 1, pp. 55–62, 2019.
- [17] I. A. Larasati *et al.*, "Proses Delignifikasi Kandungan Lignoselulosa Serbuk Bambu Betung dengan Variasi NaOH dan Tekanan," *J. Keteknikan Pertan. Trop. dan Biosist.*, vol. 7, no. 3, pp. 235–244, 2019.
- [18] E. Hosseini Koupaie, S. Dahadha, A. A. Bazyar Lakeh, A. Azizi, and E. Elbeshbishy, "Enzymatic pretreatment of lignocellulosic biomass for enhanced biomethane production-A review," *J. Environ. Manage.*, vol. 233, no. May, pp. 774–784, 2019, doi: 10.1016/j.jenvman.2018.09.106.
- [19] H. Yang, Z. Shi, G. Xu, Y. Qin, J. Deng, and J. Yang, "Bioethanol production from bamboo with alkali-catalyzed liquid hot water pretreatment," *Bioresour. Technol.*, vol. 274, pp. 261–266, 2019, doi: 10.1016/j.biortech.2018.11.088.
- [20] J. S. Kim, Y. Y. Lee, and T. H. Kim, "A review on alkaline pretreatment technology for bioconversion of lignocellulosic biomass," *Bioresour. Technol.*, vol. 199, pp. 42–48, 2016, doi: 10.1016/j.biortech.2015.08.085.
- [21] E. Tomás-Pejó, P. Alvira, M. Ballesteros, and M. J. Negro, "Pretreatment technologies for lignocellulose-to-bioethanol conversion," *Biofuels*, pp. 149–176, 2011, doi: 10.1016/B978-0-12-385099-7.00007-3.
- [22] L. P. Ramos, M. J. Suota, D. H. Fockink, G. Pavaneli, T. A. da Silva, and R. M. Łukasik, *Enzymes and biomass pretreatment*. 2020.
- [23] N. Haryani, V. L. Syarif, and S. R. Ananda, "PEMBENTUKAN BIOETANOL DARI DAUN NANAS," pp. 155–163, 2015.
- [24] S. Behera, R. Arora, N. Nandhagopal, and S. Kumar, "Importance of chemical pretreatment for bioconversion of lignocellulosic biomass," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 36, pp. 91–106, 2014, doi: 10.1016/j.rser.2014.04.047.
- [25] E. C. Clausen and J. L. Gaddy, "Concentrated sulfuric acid process for converting lignocellulosic materials to sugars," *U.S. Pat.*, vol. 5, 1993.
- [26] L. Qin, Z. Liu, B. Li, B. E. Dale, and Y. Yuan, "Mass balance and transformation of corn stover by pretreatment with different dilute organic acids Bioresource Technology Mass balance and transformation of corn stover by pretreatment with different dilute organic acids," *Bioresour. Technol.*, vol. 112, no. March, pp. 319–326, 2012, doi: 10.1016/j.biortech.2012.02.134.
- [27] I. A. Larasati, B. D. Argo, and L. C. Hawa, "Proses Delignifikasi Kandungan Lignoselulosa Serbuk Bambu Betung dengan Variasi NaOH dan Tekanan Delignification Process of Lignocellulose Content of Betung Bamboo Powder with NaOH and Pressure Variations," vol. 7, no. 3, pp. 235–244, 2019.
- [28] V. Menon and M. Rao, "Trends in bioconversion of lignocellulose: Biofuels, platform chemicals & biorefinery concept," *Prog. Energy Combust. Sci.*, vol. 38, no. 4, pp. 522–550, 2012, doi: 10.1016/j.peccs.2012.02.002.
- [29] T. Keskin, H. Nalakath Abubackar, K. Arslan, and N. Azbar, *Biohydrogen Production From Solid Wastes*. Elsevier B.V., 2019.
- [30] X. Zhao, K. Cheng, and D. Liu, "Organosolv pretreatment of lignocellulosic biomass for enzymatic hydrolysis," *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, vol. 82, no. 5, pp. 815–827, 2009, doi: 10.1007/s00253-009-1883-1.
- [31] X. Luo *et al.*, "Integrating benzenesulfonic acid pretreatment and bio-based lignin-shielding agent for robust enzymatic conversion of Cellulose in Bamboo," *Polymers (Basel)*, vol. 12, no. 1, 2020, doi: 10.3390/polym12010191.

- [32] E. C. Bensah and M. Mensah, “Chemical pretreatment methods for the production of cellulosic ethanol: Technologies and innovations,” *Int. J. Chem. Eng.*, vol. 2013, 2013, doi: 10.1155/2013/719607.
- [33] J. Viell, *A Pretreatment Process for Wood Based on Ionic Liquids*. 2014.
- [34] J. H. Chen, J. K. Xu, P. L. Huang, and R. C. Sun, “Effect of alkaline pretreatment on the preparation of regenerated lignocellulose fibers from bamboo stem,” *Cellulose*, vol. 23, no. 4, pp. 2727–2739, 2016, doi: 10.1007/s10570-016-0983-1.
- [35] J. L. Wen *et al.*, “Comparative study of alkali-soluble hemicelluloses isolated from bamboo (*Bambusa rigida*),” *Carbohydr. Res.*, vol. 346, no. 1, pp. 111–120, 2011, doi: 10.1016/j.carres.2010.10.006.
- [36] S. Kassaye, K. K. Pant, and S. Jain, “Hydrolysis of cellulosic bamboo biomass into reducing sugars via a combined alkaline solution and ionic liquid pretreatment steps,” *Renew. Energy*, vol. 104, pp. 177–184, 2017, doi: 10.1016/j.renene.2016.12.033.

[Halaman ini sengaja dikosongkan]