

Studi Literatur Penentuan Jenis ILs serta Kondisi Operasi Optimum pada Fraksionasi TKKS

Fifi Yani¹, Tasya Shafira Widjaya², Lidya Elizabeth³, Emmanuela Maria Widyanti⁴

^{1,2,3,4}Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012

¹E-mail : fifi.yani.tki18@polban.ac.id

²E-mail : tasya.shafira.tki18@polban.ac.id

³E-mail : lidya.elizabeth@polban.ac.id

⁴E-mail : emmanuela25@polban.ac.id

ABSTRAK

Tandan kosong kelapa sawit (TKKS) merupakan salah satu limbah yang keberadaannya melimpah, merupakan biomassa lignoselulosa dan yang terdiri dari tiga komponen utama yaitu selulosa, hemiselulosa dan lignin. Pemisahan komponen lignoselulosa dapat dilakukan dengan fraksionasi menggunakan *Ionic Liquids* (ILs), sehingga setiap komponen dapat ditingkatkan nilai gunanya. Penelitian ini dilakukan dengan studi literatur yang bertujuan untuk mengetahui jenis pelarut terbaik dan kondisi operasi optimum pada fraksionasi TKKS. Pengaruh *Ionic Liquids* (ILs) dilakukan terhadap lima jenis ILs yaitu Triethylamine hydrogen sulphate ([TEA][HSO₄]), 1-butyl-3-methyl imidazolium chloride ([Bmim][Cl]), 1-butyl-3-methyl imidazolium acetat ([Bmim][Ac]), 1-ethyl-3-methyl imidazolium diethylphosphate ([Emim][DEP]), 1-ethyl-3-methyl imidazolium acetat ([Emim][OAc]). Hasil terbaik didapatkan dari penelitian katinonkul et al. pada tahun 2012 menggunakan [Emim][Oac] sebagai pelarut terbaik dengan kadar selulosa *recovery* 96.1%, hemiselulosa 93%, lignin 47% pada suhu 110°C selama 2 jam.

Kata Kunci

Fraksionasi, biomassa lignoselulosa, TKKS, *Ionic Liquids* (ILs).

1. PENDAHULUAN

Biomassa lignoselulosa merupakan limbah yang dihasilkan dari kegiatan pertanian, perkebunan, kehutanan [1] serta limbah industri pengolahan pangan (*food waste*) [2]. Limbah lignoselulosa adalah salah satu residu sumber biomassa yang keberadaannya melimpah, tidak bernilai jual, dan tidak bersaing dengan sumber bahan pangan [3]. Komponen utama penyusun lignoselulosa adalah selulosa, hemiselulosa, dan lignin [4], ketiga komponen tersebut terikat membentuk suatu struktur yang kuat. Lignin merupakan polimer yang resisten terhadap degradasi kimia [5]. Kandungan lignin pada biomassa lignoselulosa dapat mengganggu dalam proses pelarutan serta pengolahannya [6], sehingga keberadaannya dapat menghambat dalam upaya pemanfaatan lignoselulosa untuk produksi bahan bakar serta bahan kimia.

Tandan kosong kelapa sawit (TKKS) merupakan salah satu sumber lignoselulosa yang melimpah di Indonesia. Pada tahun 2019, luas areal perkebunan kelapa sawit di Indonesia adalah 14,60 juta hektar [7]. Produksi kelapa sawit di Indonesia pada tahun 2020 mencapai 49,1 juta ton [8]. TKKS merupakan limbah padat terbesar yang dihasilkan dari pengolahan kelapa sawit. Setiap pengolahan 1 ton Tandan Buah Segar (TBS) dihasilkan sebanyak 22 - 23% TKKS [9]. Limbah TKKS mengandung 41.30 - 46.50 %, 25.30 - 33.80% hemiselulosa dan 27.60 - 32.50% lignin [1]. Variasi kadar ini bergantung pada beberapa faktor seperti jenis, umur, lokasi tumbuhnya biomassa, serta faktor lingkungan [10]. Limbah TKKS berpotensi menjadi

bahan baku produk turunan lignoselulosa seperti glukosa, xilosa, manosa, etanol, biopulp, pakan ternak dan substrat untuk produksi enzim [11].

Penelitian mengenai delignifikasi lignoselulosa sudah banyak dilakukan, sebagian besar proses delignifikasi membutuhkan banyak energi serta menghasilkan produk samping [5]. Delignifikasi merupakan proses penghilangan lignin pada lignoselulosa. Lignin yang terbuang berpotensi menjadi produk yang lebih bernilai jual. Oleh karena itu, dilakukan proses fraksionasi, yang merupakan proses pemisahan struktur kompleks lignoselulosa menjadi fraksi-fraksi komponen penyusun utamanya yaitu selulosa, hemiselulosa dan lignin [12]. Fraksionasi pada lignoselulosa menjadikan setiap komponen tersebut dapat dimanfaatkan sehingga proses pengolahan biomassa lignoselulosa menjadi lebih ekonomis. Selulosa yang merupakan komponen terbesar dalam lignoselulosa berpotensi sebagai energi baru terbarukan yang dapat menggantikan penggunaan energi fosil [10]. Selulosa juga dapat diolah menjadi asam organik, pelarut, pelumas dan polimer [13]. Komponen hemiselulosa dapat menghasilkan produk lain, seperti xilitol dari xilosa [14]. Lignin dapat dimanfaatkan untuk produksi perekat, sodium lignosulfonat, dan biosurfaktan karena memiliki kemurnian tinggi, berat molekul rendah, dan reagen organik mudah di daur ulang [13,14].

Fraksionasi lignoselulosa Teknologi fraksionasi dapat dilakukan secara fisika (*mechanical comminution*, *extrusion*, *ultrasound*, dan *microwave*), kimia (*organosolv*, asam, alkalin, *ozonolysis*, dan *ionic*

liquids), biologi serta gabungan dari proses fisika-kimia (*steam explosion, liquid hot water, ammonia, dan wet oxidation*) [16]. Proses fraksinasi tersebut masing-masing mempunyai kelebihan serta kekurangan. Fraksinasi secara fisika dan biologi membutuhkan proses yang panjang serta penelitian secara intensif harus dilakukan agar proses tersebut dapat bertahan secara komersial. Fraksinasi secara kimia dan fisika-kimia merupakan teknologi yang paling efisien sehingga dapat diaplikasikan pada skala industri. Kekurangan metode fraksinasi secara kimia yaitu bersifat korosif, mudah terbakar, tidak dapat didaur ulang sehingga mengakibatkan pencemaran terhadap lingkungan serta menghasilkan berbagai produk samping yang dapat menghambat dalam proses pengolahan selanjutnya [16].

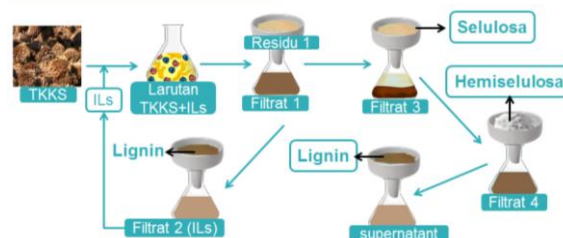
Fraksinasi secara kimia dengan menggunakan *ionic liquids* (ILs) berpotensi digunakan pada skala industri. ILs merupakan pelarut hijau yang dapat mengganggu struktur lignoselulosa [17]. ILs dapat melarutkan selulosa karena memiliki komposisi khusus yang melibatkan kation organik dan anion anorganik [16]. ILs memiliki sifat sebagai pelarut yang sangat baik, stabilitas termal tinggi, tekanan uap rendah, polaritas tinggi, mudah didaur ulang dan tidak mudah terbakar [6]. Berdasarkan hal tersebut, dilakukan penelitian secara studi literatur untuk mengetahui pengaruh fraksinasi dengan menggunakan pelarut ILs terhadap pemisahan kadar selulosa, hemiselulosa, dan lignin, serta mengetahui kondisi operasi optimum pada fraksinasi untuk menghasilkan pemisahan kadar selulosa, hemiselulosa dan lignin.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Pemakaian ILs sebagai pelarut dalam fraksinasi lignoselulosa telah menjadi perhatian para peneliti saat ini. ILs mampu memecah jaringan ikatan hidrogen pada polisakarida secara ekstensif sehingga meningkatkan daya larutnya [18]. ILs termasuk ke dalam kelompok senyawa garam yang berfasa cair pada suhu ruangan [19]. ILs memiliki titik leleh dibawah 100°C [20]. ILs terdiri dari kation dan anion, dimana jumlah ikatan ion lebih banyak dari ikatan molekul [21]. Kation pada *ionic liquids* umumnya merupakan struktur organik dengan simetri rendah. Pusat kationik melibatkan nitrogen atau fosfor bermuatan positif. Anion yang membentuk cairan ionik pada suhu kamar biasanya bersifat anorganik lemah atau senyawa organik yang bermuatan negatif [19].

ILs berpotensi sebagai pelarut dalam proses fraksinasi TKKS yang terbukti dapat memisahkan selulosa, hemiselulosa dan lignin [21,23,25-27], dengan tidak mengubah keseluruhan komposisi dari TKKS [24]. Mekanisme pemutusan ikatan selulosa oleh ILs adalah dengan cara menyerang atom oksigen dan hidrogen dari gugus hidroksil selulosa [20]. Proses pelarutan selulosa terjadi karena adanya interaksi antara anion dalam ILs dengan proton dari hidroksil selulosa, sehingga terbentuk suatu ikatan yaitu ikatan hidrogen/*hydrogen bonds* (Hbs) [26], selama proses interaksi antara gugus hidroksil selulosa dengan IL, ikatan hidrogen akan

rusak, yang berakibat terbukanya ikatan-ikatan hidrogen antar ikatan molekul pada selulosa, dan lalu terputus [25] sehingga selulosa, hemiselulosa, dan lignin akan terpisah secara efektif [27]. Selulosa yang telah dilarutkan dengan cepat akan diendapkan dengan anti-solvent seperti etanol, metanol, aseton atau air [25]. Skema fraksinasi lignoselulosa menggunakan ILs dapat dilihat dari Gambar 1.



Gambar 1. Skema Fraksinasi TKKS menggunakan ILs

ILs terbagi kedalam dua golongan yaitu ILs protik dan aprotik (nonprotik). ILs protik memiliki pusat muatan kation yang biasanya terbentuk dari alkilasi heteroatom yang tidak dapat dibalik sedangkan ILs aprotik memiliki muatan ion yang bergantung pada proton antara asam bronsted basa yang sesuai [28]. Kation adalah pendonor ikatan H yang dominan sedangkan anion adalah akseptor ikatan H yang dominan. ILs nonprotik memiliki keseimbangan transfer proton yang menghasilkan spesies netral, serta interaksi ion-ion yang kuat melalui interaksi ikatan hidrogen anion-kation. ILs aprotik, kation cenderung memiliki C2-H sebagai unit donor ikatan H primer [29].

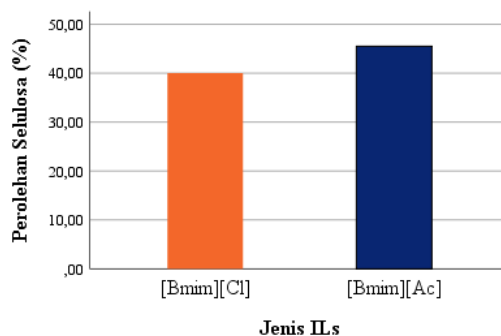
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Jenis ILs

ILs sangat bervariasi tergantung pada kation dan anion penyusunnya, sehingga perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mengetahui jenis kation dan anion yang berpotensi sebagai pelarut dalam fraksinasi TKKS. ILs dengan kation imidazolium semakin banyak diteliti, karena terbukti dapat menghasilkan kelarutan selulosa yang tinggi [26]. [Bmim][Cl] diketahui memiliki kelarutan selulosa yang tinggi didukung oleh anion [Cl]⁻ yang memiliki keelektronegatifan kuat. Hasil penelitian Mohtar et al. [23] pada tahun 2017 menunjukkan bahwa [Bmim][Cl] mendapatkan perolehan *recovery* selulosa sebesar 73.71%-berat, hemiselulosa 273.71%-berat dan lignin 82.94%-berat pada fraksinasi TKKS. Fraksi *recovery* hemiselulosa melebihi nilai awal sebelum fraksinasi mencapai lebih dari 200%-berat karena adanya kotoran seperti selulosa atau zat lainnya pada saat fraksi hemiselulosa dianalisis. Namun, [Bmim]Cl diketahui kurang efektif pada fraksinasi TKKS. Hasil penelitian Basyarudin et al. [30] pada tahun 2020 menyatakan bahwa kelarutan TKKS pada [Bmim][Cl] hanya sebesar 48 ± 0.9% pada suhu 100°C selama 16 jam. Selain itu, hasil penelitian Liu et al. [24] pada tahun 2020 menunjukkan bahwa pada [Bmim][Cl] putusannya koneksi antar komponen TKKS serta konversi selulosa kristal menjadi amorf terjadi relatif lebih sedikit. TKKS yang diberi perlakuan dengan

[Bmim][Cl] juga tidak cocok digunakan untuk proses hidrolisis enzimatis. Katinonkul, et al. [20] pada tahun 2012 meneliti lebih lanjut terhadap hidrolisis enzimatis pada TKKS yang sebelumnya dilarutkan dalam [Bmim][Cl], penelitian tersebut menghasilkan *recovery* glukukan sebesar 87.3%, xilan 82.5%, dan lignin 87%. Namun, daya cerna enzimatis yang diberikan oleh [Bmim][Cl] dalam penelitian ini tidak baik. Hal tersebut dikarenakan [Bmim][Cl] dapat meningkatkan jumlah permukaan hidroksil fenolik yang merupakan faktor penghambat pada proses hidrolisis enzimatis dengan adsorpsi nonproduktif [24]. Banyaknya paparan gugus hidroksil fenolik pada permukaan TKKS disebabkan karena [Bmim][Cl] dapat menghilangkan lebih banyak selulosa dan hemiselulosa dari pada lignin [24]. Hasil penelitian Katinonkul et al. [20] pada tahun 2012 menunjukkan hasil yang serupa, biomassa kayu dapat terlarut dengan baik dalam ILs yang mengandung anion klorida, tetapi menghasilkan hasil hidrolisis enzimatis yang rendah.

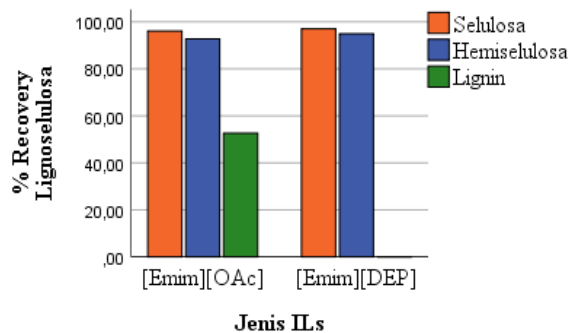
[Bmim][Ac] diketahui memiliki sifat yang dapat mengatasi kekurangan dari [Bmim][Cl]. ILs yang mengandung anion [Ac]⁻ cenderung kurang korosif, viskositas nya rendah dan lebih basa dibandingkan dengan anion halida. Faktor-faktor tersebut membuat anion [Ac]⁻ lebih efisien dibandingkan dengan anion [Cl]⁻ dalam hal mengganggu ikatan hidrogen antar dan intramolekul dalam biopolimer. Hasil penelitian Liu et al. [24] pada tahun 2020 melaporkan bahwa [Bmim][Ac] dapat mengurangi kandungan hidroksil fenolik. Hal tersebut menunjukkan bahwa proses disolusi dan regenerasi yang terjadi selama perlakuan berperan aktif dalam penghilangan atau penyembunyian fisik gugus hidroksil fenolik. Liu et al. [24] pada tahun 2020 juga membandingkan efek [Bmim][Cl] dan [Bmim][Ac] pada permukaan TKKS. TKKS sebelum mengalami pelarutan memiliki permukaan yang datar dan rapat, sedangkan setelah pelarutan menghasilkan permukaan yang berkerut. Retakan permukaan TKKS yang diolah dengan [Bmim][Ac] menunjukkan hasil yang lebih dalam. Hal tersebut dikarenakan [Bmim][Ac] memiliki kemampuan dalam melarutkan lignin yang terdapat pada TKKS, sedangkan [Bmim][Cl] memerlukan proses penghilangan lilin terlebih dahulu. [Bmim][Ac] memiliki efisiensi yang tinggi pada penghilangan asetil grup dan proses reduksi yang signifikan dari selulosa kristal. Hasil penelitian Liu et al. [24] yang menunjukkan perbandingan perolehan selulosa pada TKKS menggunakan pelarut ILs [Bmim][Cl] dan [Bmim][Ac] disajikan pada Gambar 2. Perolehan selulosa tertinggi yaitu pada [Bmim][Ac] sebesar 45.51%, sedangkan pada [Bmim][Cl] hanya 40.02% .



Gambar 2. Perbandingan [Bmim][Cl] vs [Bmim][Ac] terhadap Perolehan Selulosa

Penelitian mengenai kelarutan selulosa dalam ILs terus berkembang, hingga ditemukan bahwa fraksinasi TKKS dengan menggunakan [Emim][OAc] terbukti lebih efektif dibandingkan dengan menggunakan [Bmim][Ac], hal ini disebabkan karena gugus butil pada rantai samping Bmim lebih panjang dari pada gugus Etil Emim. Bmim memiliki halangan stearik yang lebih kuat dibandingkan dengan Emim. Halangan stearik terjadi ketika gugus berukuran besar pada suatu molekul mencegah reaksi kimia dengan gugus yang lebih kecil. Hal tersebut mengakibatkan terhambatnya reaksi Bmim dengan substrat [24]. Hasil penelitian Basyaruddin et al. [30] pada tahun 2020 menunjukkan bahwa [Emim][Ac] memiliki kemampuan untuk melarutkan serat biomassa sepenuhnya mencapai $99 \pm 1.0\%$ pada suhu 100°C selama 16 jam.

Katinonkul et al. [20] pada tahun 2012 membandingkan ILs yang memiliki kation sama yaitu [Emim]⁺ dengan dua jenis anion berbeda yaitu [OAc]⁻ dan [DEP]⁻. Hasil penelitian Katinonkul et al. [20] pada tahun 2012 yang membandingkan ILs [Emim][OAc] dan [Emim][DEP] dalam memisahkan ketiga fraksi lignoselulosa disajikan pada Gambar 3. [Emim][OAc] lebih efektif dalam fraksinasi TKKS yang menghasilkan nilai *recovery* glukukan dan xilan masing-masing sebesar 96.1% dan 92.7% serta pemisahan lignin tertinggi sebesar 52.6%. Sedangkan, fraksinasi dengan pelarut [Emim][DEP] menghasilkan *recovery* glukukan tertinggi sebesar 97%. Namun, [Emim][DEP] tidak mampu memisahkan lignin sehingga kurang memenuhi syarat sebagai pelarut untuk fraksinasi lignoselulosa.

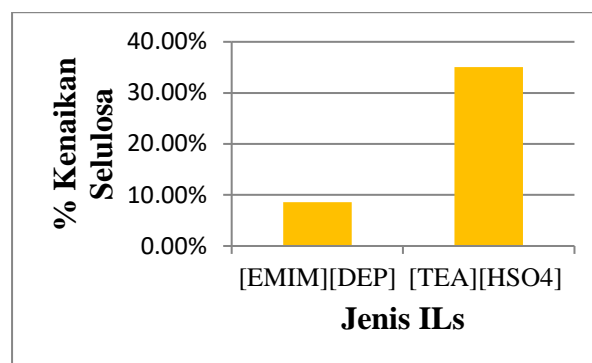


Gambar 3. Perbandingan [Emim][OAc] vs [Emim][DEP] terhadap Recovery Lignoselulosa

Hasil penelitian tersebut sesuai dengan penelitian yang dilakukan Tomimatsu et al. [31] pada tahun 2019, bahwa kelarutan selulosa dalam ILs dapat dipengaruhi oleh parameter Kamlet-Taft, diantaranya dipolaritas-polarisasi (π^*), keasaman ikatan hidrogen (α), dan kebasaan ikatan hidrogen (β). Kebasaan ikatan hidrogen (β) merupakan parameter yang paling mempengaruhi spesies anionik, yang berhubungan erat dengan kelarutan selulosa dalam ILs. Nilai β diuji dari setiap ILs berbasis kation imidazolium yang sama yaitu [Emim]⁺, tetapi dengan anion yang berbeda diantaranya acetate [OAc]⁻, dan diethyl phosphonate [DEP]⁻. Hasil menunjukkan baik nilai β maupun kelarutan selulosa dalam ILs jika diurutkan yaitu [Emim][OAc] ($\beta = 1,11$; kelarutan selulosa = 40 g/mol-IL) > [Emim][DEP] ($\beta = 1,08$; kelarutan selulosa = 24 g/mol-IL). Hal ini membuktikan bahwa hubungan antara nilai β dengan kelarutan selulosa dalam ILs adalah berbanding lurus, dengan [Emim][OAc] sebagai pelarut terbaik yang lebih efektif dalam melarutkan selulosa.

Pemilihan jenis ILs terbaik dapat juga dilihat dari penurunan nilai derajat polimerisasi (DP) dari selulosa setelah pelarutan. Hasil penelitian Katinonkul et al. [20] pada tahun 2012 menunjukkan nilai DP selulosa yang rendah dapat memberikan daya cerna enzimatik yang tinggi pada proses hidrolisis enzimatik. DP selulosa yang diberi perlakuan NMMO, [Emim][OAc], dan [Bmim][Cl] berturut-turut adalah 712, 565, dan 1261. [Emim][OAc] yang menghasilkan daya cerna enzimatik tertinggi yaitu 96,6% dan secara efektif menghasilkan penghilangan lignin tertinggi yaitu 52,6%, dibandingkan dengan NMMO, dan [Bmim][Cl] yang masing-masing memberikan nilai kecernaan enzimatik adalah 73,5 dan 54,8%. [Emim][OAc] dapat merubah struktur kristal selulosa menjadi amorf, sehingga menghasilkan resistensi yang rendah terhadap hidrolisis enzimatik.

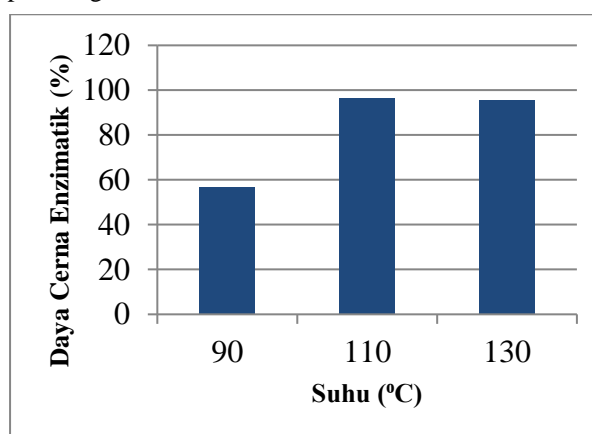
Empat jenis ILs yang telah dijelaskan sebelumnya termasuk kedalam jenis ILs nonprotik. Selain itu, terdapat ILs jenis protik [TEA][HSO₄] yang juga dapat digunakan dalam fraksinasi TKKS. [TEA][HSO₄] disintesis dari asam sulfat dan triethylamine yang tidak memerlukan pemurnian serta dibuat dari bahan baku yang murah. [TEA][HSO₄] dibandingkan dengan ILs nonprotik [EMIM][DEP] pada suhu 80°C dengan rasio biomassa dan pelarut 1:10, yang disajikan pada Gambar 4. Hasil penelitian Nurdin et al. [32] pada tahun 2021 menyatakan [TEA][HSO₄] menghasilkan % kenaikan selulosa pada TKKS paling tinggi sebesar 35,04% dari komposisi awal 27,4%, sedangkan hasil penelitian Financie et al. [25] pada tahun 2015 menyatakan bahwa pada [Emim][DEP] selulosa naik sebesar 8,6% dari komposisi awal 49,06%. Penelitian tersebut dilakukan pada suhu 80°C dan rasio biomassa dengan pelarut 1:10 tetapi pada waktu proses yang berbeda. [TEA][HSO₄] dilakukan dengan waktu proses 17 jam, sedangkan [Emim][DEP] hanya dilakukan selama 1 jam [25]. Hal tersebut menunjukkan bahwa ILs protik juga dapat digunakan dalam fraksinasi lignoselulosa, tetapi waktu proses yang lama memungkinkan pemakaian energi yang kurang efisien.



Gambar 4. Perbandingan Kenaikan % Selulosa pada [Emim][DEP] vs [TEA][HSO₄]

3.2. Pengaruh Kondisi Proses

Proses fraksinasi dipengaruhi oleh kondisi proses, meliputi waktu reaksi, suhu, kecepatan pengaduk dan ukuran partikel. Suhu proses diatur untuk mempercepat laju fraksinasi lignoselulosa dengan menggunakan ILs. Suhu yang terlalu tinggi dapat mendegradasi biomassa sehingga dapat menyebabkan hilangnya satu atau lebih senyawa. Sebaliknya, suhu yang lebih rendah dapat memperpanjang waktu proses yang tidak menguntungkan bagi industri. Oleh karena itu, kondisi operasi harus dioptimalkan tergantung kepada biomassa yang digunakan untuk mendapatkan hasil fraksinasi yang optimum [23]. Hasil penelitian Katinonkul et al. [20] pada tahun 2012 menunjukkan daya cerna enzimatik TKKS dengan pelarut [Emim][OAc] pada variasi suhu 90, 110 dan 130°C selama 2 jam disajikan pada Gambar 5. Daya cerna enzimatik tertinggi didapat pada suhu 130°C. Namun, pada kondisi tersebut menghasilkan produk berupa gel. Oleh karena itu, kondisi yang paling efektif untuk pelarut [Emim][OAc] yaitu pada suhu 110°C selama 2 jam, yang dapat memberikan hasil serupa tetapi tanpa menghasilkan produk gel.



Gambar 5. Daya Cerna Enzimatik TKKS dengan pelarut [Emim][OAc] pada waktu 2 jam

Suhu mempengaruhi viskositas serta konduktivitas ILS. Pelarut [EMIM][OAc] menunjukkan viskositas yang lebih rendah, yang memungkinkan partikel lignoselulosa lebih mudah terdifusi sehingga energi

yang dibutuhkan untuk melarutkan selulosa lebih rendah. Peningkatan suhu pelarutan dapat meningkatkan difusivitas. Namun, pada suhu yang lebih tinggi degradasi termal selulosa dapat terjadi. Waktu yang lebih lama memungkinkan IL untuk menembus lebih jauh ke dalam biomassa.

Hasil penelitian Sun et al. dalam Carneiro et al. [33] pada tahun 2017 menyatakan bahwa suhu antara 80°C dan 130°C telah digunakan untuk pelarutan biomassa dalam cairan ionik. Miyafuji dalam Carneiro et al. [33] membuktikan bahwa suhu yang lebih tinggi dari 110°C diperlukan untuk mendapatkan 80% pelarutan *Japanese Beech* dalam [Emim][Cl] dan diperlukan pengadukan lebih dari 15 jam karena pelarutan lignin yang lebih lambat.

Carneiro et al. [33] mengamati bahwa partikel biomassa dengan ukuran 0,5 mm tidak sepenuhnya larut dalam cairan ionik alkilimidazolium klorida. Oleh karena itu, percobaan dilakukan pada ukuran partikel <0,5 mm (sekitar 35 mesh) dan kecepatan pengadukan 400 rpm. Kecepatan pengadukan juga memainkan peranan penting dalam perpindahan massa. Pengadukan dapat menyebabkan penipisan tebal lapisan difusi sehingga dapat mempercepat kelarutan biomassa. Beberapa literatur dalam penelitian Carneiro et al. [33] menyatakan bahwa kecepatan pengadukan antara 200 rpm hingga 700 rpm. Penurunan ukuran partikel, peningkatan kecepatan pengadukan serta waktu disolusi memberikan peningkatan kelarutan biomassa dari 0.51 - 0.62 menjadi 2.3 wt%.

4. KESIMPULAN

Proses fraksinasi dipengaruhi oleh berbagai faktor diantaranya jenis biomassa, jenis ILs, waktu reaksi, suhu, kecepatan pengaduk dan ukuran partikel. [Emim][OAc] terbukti lebih efektif dibandingkan dengan menggunakan [Bmim][Ac], hal ini disebabkan karena gugus butil pada rantai samping Bmim lebih panjang dari pada gugus Etil pada Emim. [Emim][OAc] memiliki kebasaaan ikatan hidrogen (β) yang lebih tinggi dibandingkan dengan [Emim][DEP]. TKKS dengan pelarut [Emim][OAc] memiliki Derajat Polimerisasi (DP) yang rendah serta memiliki daya larut yang tinggi dibandingkan dengan pelarut lain. [Emim][OAc] merupakan pelarut yang paling baik dalam fraksinasi TKKS dengan kondisi operasi terbaik pada suhu 110°C selama 2 jam, yang dapat menghasilkan *recovery* glukuan dan xilan masing-masing sebesar 96.1% dan 92.7% serta pemisahan lignin sebesar 52.6%. Kondisi operasi yang disarankan untuk penelitian lebih lanjut adalah pada rentang suhu 80-130°C, ukuran partikel <0,5 mm, kecepatan pengadukan antara 200 – 700 rpm dan pada waktu 2 jam.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan kepada P3M Politeknik Negeri Bandung atas pendanaan Penelitian Mandiri dengan nomor kontrak 105.43/PL1.R7/PG.00.03/2021.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] E. Hermiati, D. Mangunwidjaja, T. C. Sunarti, and O. Suparno, "Pemanfaatan biomassa lignoselulosa ampas tebu untuk produksi bioetanol," *J. Penelit. dan Pengemb. Pertan.*, vol. 29, no. 4, pp. 121–130, 2017, doi: 10.21082/jp3.v29n4.2010.p121-130.
- [2] B. Prasetya, Y. Yopi, E. Hermiati, and N. Rahmani, "Biorefinery of lignocellulosic biomass for supporting circular economy: Global trends and implementation challenges in Indonesia ("Teknologi biokilang biomassa lignoselulosa untuk...," no. November, 2020.
- [3] A. A. Naini, U. Padjadjaran, S. Sunardi, and U. L. Mangkurat, "Praperlakuan secara Hidrotermal Limbah Lignoselulosa untuk Produksi Bioetanol Generasi Kedua (Pretreatment of Lignocellulose Wastes Using Hydrothermal Method for Producing Second G ...," no. December, 2018, doi: 10.24111/jrihh.v10i2.4078.
- [4] H. Chen, "Biotechnology of lignocellulose: Theory and practice," in *Biotechnology of Lignocellulose: Theory and Practice*, 2014, pp. 1–511.
- [5] M. Lucas, S. K. Hanson, G. L. Wagner, D. B. Kimball, and K. D. Rector, "Evidence for room temperature delignification of wood using hydrogen peroxide and manganese acetate as a catalyst," *Bioresour. Technol.*, vol. 119, pp. 174–180, 2012, doi: 10.1016/j.biortech.2012.05.086.
- [6] Z. Xia, J. Li, J. Zhang, X. Zhang, X. Zheng, and J. Zhang, "Processing and valorization of cellulose, lignin and lignocellulose using ionic liquids," *J. Bioresour. Bioprod.*, vol. 5, no. 2, pp. 79–95, 2020, doi: 10.1016/j.jobab.2020.04.001.
- [7] BPS, *Statistik Kelapa Sawit Indonesia*. Jakarta: Badan Pusat Statistika, 2019.
- [8] Dirjenbun, "Statistik perkebunan Indonesia 2018-2020," *Buku Stat. Perkeb. Indones.*, pp. 1–82, 2019.
- [9] S. Sartini, R. Fitriani, and R. Lubis, "Pengaruh Kadar Asam Sulfat Pada Hidrolisis Tandan Kosong Kelapa Sawit (Tks) Dan Waktu Fermentasi Terhadap Kadar Bioetanol Yang Dihasilkan," *BIOLINK (Jurnal Biol. Lingkungan, Ind. Kesehatan)*, vol. 4, no. 2, p. 152, 2018, doi: 10.31289/biolink.v4i2.1191.
- [10] W. Fatriasari, N. Masruchin, and E. Hermiati, *Selulosa Karakteristik dan Pemanfaatannya*. Jakarta: LIPI Press, 2019.
- [11] Isroi et al., "Structural changes of oil palm empty fruit bunch (OPEFB) after fungal and phosphoric acid pretreatment," *Molecules*, vol.

- 17, no. 12, pp. 14995–15012, 2012, doi: 10.3390/molecules171214995.
- [12] K. Kucharska, P. Rybarczyk, I. Hołowacz, R. Łukajtis, M. Glinka, and M. Kamiński, “Pretreatment of lignocellulosic materials as substrates for fermentation processes,” *Molecules*, vol. 23, no. 11, pp. 1–32, 2018, doi: 10.3390/molecules23112937.
- [13] H. A. Darojati, R. Purwadi, and C. B. Rasrendra, “Proses Fraksionasi Biomassa dari Tandan Kosong Kelapa Sawit melalui Metode Organosolv Etanol dengan Penambahan Katalis,” *J. Selulosa*, vol. 10, no. 02, p. 73, 2020, doi: 10.25269/jsel.v10i02.303.
- [14] E. Hermiati, *Pengembangan Teknologi Konversi Biomassa Menjadi Bioetanol dan Bioproduk Sebagai Substitusi Produk Beragain Baku Fosil*. 2019.
- [15] S. Hidayati, A. S. Zuidar, and A. Fahreza, “Optimasi Produksi Pulp Formacell Dari Tandan Kosong Kelapa Sawit (Tkks) Dengan Metode Permukaan Respon,” *Reaktor*, vol. 16, no. 4, p. 161, 2017, doi: 10.14710/reaktor.16.4.161-171.
- [16] M. Kapoor, S. Semwal, R. Gaur, R. Kumar, R. P. Gupta, and S. K. Puri, “The Pretreatment Technologies for Deconstruction of Lignocellulosic Biomass,” no. January, 2018.
- [17] I. Hasanov and M. Raud, “The Role of Ionic Liquids in the Lignin Separation from Lignocellulosic Biomass,” pp. 1–24, 2020.
- [18] M. R. Hidayat, “Teknologi pretreatment bahan lignoselulosa dalam proses produksi bioetanol,” *Biopropal Ind.*, vol. 4, no. 1, pp. 33–48, 2013.
- [19] V. B. A. De Meijere, K. N. H. H. Kessler, J. L. S. V. Ley, M. O. S. Schreiber, B. M. T. P. Vogel, and F. V. H. Wong, *Ionic Liquids*. 2010.
- [20] W. Katinonkul, J. S. Lee, S. H. Ha, and J. Y. Park, “Enhancement of enzymatic digestibility of oil palm empty fruit bunch by ionic-liquid pretreatment,” *Energy*, vol. 47, no. 1, pp. 11–16, 2012, doi: 10.1016/j.energy.2012.06.050.
- [21] Y. Chen and T. Mu, “Application of deep eutectic solvents in biomass pretreatment and conversion,” *Green Energy Environ.*, vol. 4, no. 2, pp. 95–115, 2019, doi: 10.1016/j.gee.2019.01.012.
- [22] M. Nurdin *et al.*, “Synthesis , pretreatment , and recovery of [TEA] [HSO₄] ionic liquid for OPEFB lignocellulosic transformation,” *Res. Sq.*, pp. 1–10, 2020.
- [23] S. S. Mohtar, T. N. Z. Tengku Malim Busu, A. M. Md Noor, N. Shaari, and H. Mat, “An ionic liquid treatment and fractionation of cellulose, hemicellulose and lignin from oil palm empty fruit bunch,” *Carbohydr. Polym.*, vol. 166, pp. 291–299, 2017, doi: 10.1016/j.carbpol.2017.02.102.
- [24] Q. Liu *et al.*, “Complex effects of wax on ionic liquid pretreatment of oil palm empty fruit bunch,” *Ind. Crops Prod.*, vol. 152, no. December 2019, p. 112526, 2020, doi: 10.1016/j.indcrop.2020.112526.
- [25] R. Financie, M. Moniruzzaman, and Y. Uemura, “Characterization of Empty Fruit Bunch Treated with Ionic Liquid Prior to Enzymatic Delignification,” *J. Rekayasa Kim. Lingkungan.*, vol. 10, no. 4, p. 165, 2015, doi: 10.23955/rkl.v10i4.3307.
- [26] Y. Zhao, X. Liu, J. Wang, and S. Zhang, “Effects of Cationic Structure on Cellulose Dissolution in Ionic Liquids: A Molecular Dynamics Study,” *ChemPhysChem*, pp. 1–9, 2012, doi: 10.1002/cphc.201200286.
- [27] P. Alvira, M. Ballesteros, and M. J. Negro, “Bioresource Technology Pretreatment technologies for an efficient bioethanol production process based on enzymatic hydrolysis: A review,” *Bioresour. Technol.*, vol. 101, no. 13, pp. 4851–4861, 2010, doi: 10.1016/j.biortech.2009.11.093.
- [28] J. E. S. J. Reid, R. J. Gammons, J. M. Slattery, A. J. Walker, and S. Shimizu, “Interactions in water ionic liquid mixtures: Comparing protic and aprotic systems,” *J. Phys. Chem. B*, vol. 121, no. 3, pp. 599–609, 2017, doi: 10.1021/acs.jpcc.6b10562.
- [29] S. Thawarkar, N. D. Khupse, and A. Kumar, “Binary Mixtures of Aprotic and Protic Ionic Liquids Demonstrate Synergistic Polarity Effect: An Unusual Observation,” *J. Solution Chem.*, vol. 49, no. 2, pp. 210–221, 2020, doi: 10.1007/s10953-020-00952-w.
- [30] M. Basyaruddin *et al.*, “com Effect of Ionic Liquids on Oil Palm Biomass Fiber Dissolution,” vol. 11, no. Johnson 1969, pp. 7172–7190, 2020.
- [31] Y. Tomimatsu, H. Suetsugu, Y. Yoshimura, and A. Shimizu, “The solubility of cellulose in binary mixtures of ionic liquids and dimethyl sulfoxide: Influence of the anion,” *J. Mol. Liq.*, vol. 279, pp. 120–126, 2019, doi: 10.1016/j.molliq.2019.01.093.
- [32] M. Nurdin *et al.*, “Optimization of OPEFB lignocellulose transformation process through ionic liquid [- TEA] [HSO₄] based pretreatment,” *Sci. Rep.*, pp. 1–11, 2021, doi: 10.1038/s41598-021-90891-3.
- [33] A. P. Carneiro, O. Rodríguez, and E. A. Macedo, “Dissolution and fractionation of nut shells in ionic liquids,” *Bioresour. Technol.*,

vol. 227, no. November, pp. 188–196, 2017,
doi: 10.1016/j.biortech.2016.11.112.