

Sintesis Selulosa Biomassa Proses Pirolisis Dengan Bantuan Katalis Menjadi Bio-Oil

Siti Aristianty Holiza^{1*}, Syaiful Bahri¹, Desi Heltina¹

¹Universitas Riau, Pekanbaru

ABSTRACT

Global energy needs will continue to increase and the availability of fuel oil is increasingly limited to overcome these problems, alternative renewable energy sources are needed in the form of biomass, one of which is bio-oil. Biomass is a biological material derived from a life that is structured as carbon and a mixture of organic nitrogen, oxygen, chemicals, and a small number of atoms and other elements. Some types of biomass include plants, trees and livestock waste. There is a lot of cellulose content in unutilized biomass waste such as pineapple leaf waste, acacia wood, etc. which can be used as bio-oil with a chemical modification method of cellulose with homogeneous and heterogeneous where cellulose preparation is carried out by delignification and bleaching processes. cellulose $(C_6H_{10}O_5)_n$ is one of the long-chain polymers of polysaccharides composed of β -glucose monomers. Cellulose is the main carbohydrate synthesized by plants and occupies almost 60% of the components of the plant structure. And the technology used to convert biomass into fuel is three, namely direct combustion, thermochemical conversion and biochemical conversion. where the technology in the form of pyrolysis is a promising biomass valorization technique to obtain a form of energy that is easy to store and transport with high energy density. This process is operated at a temperature range of 400-650°C. And the addition of various catalysts such as zeolite, clay, alumina, etc. in this pyrolysis process is needed in order to accelerate the reaction. Through a literature study of previous research results, it is hoped that this article can add insight for researchers and support government programs in efforts to develop renewable energy in Indonesia by using biomass as a substitute for fuel.

ABSTRAK

Kebutuhan energi global akan terus meningkat dan ketersediaan bahan bakar minyak semakin terbatas untuk mengatasi permasalahan tersebut diperlukan sumber energi alternatif yang dapat diperbaharui berupa biomassa salah satunya menjadi bio-oil. Biomassa adalah material biologis yang berasal dari suatu kehidupan yang berstruktur karbon dan campuran organik nitrogen, oksigen, kimiawi, dan sejumlah kecil atom-atom dan elemen-elemen lainnya. Beberapa jenis biomassa diantaranya adalah tanaman, pepohonan dan kotoran ternak. Ada banyak kandungan selulosa pada limbah biomassa yg tak dimanfaatkan seperti limbah daun nenas, kayu akasia dll dapat dijadikan bio-oil dengan metode modifikasi kimia selulosa dengan homogen dan heterogen dimana Preparasi selulosa dilakukan dengan proses delignifikasi dan bleaching. Selulosa $(C_6H_{10}O_5)_n$ merupakan salah satu polimer berantai panjang dari polisakarida yang disusun dari monomer-monomer β -glukosa. Selulosa adalah karbohidrat utama yang disintesis oleh tanaman dan menempati hampir 60% komponen penyusun struktur tanaman dengan teknologi yang digunakan untuk menkonversi biomassa menjadi bahan bakar ada tiga yaitu pembakaran langsung, konversi termokimia dan konversi biokimia. Dimana teknologi berupa pirolisis merupakan teknik valorisasi biomassa yang menjanjikan untuk memperoleh bentuk energi yang mudah disimpan dan diangkut dengan energy density yang tinggi. Proses ini dioperasikan pada rentang temperatur 400-650°C. Serta penambahan katalis yg beragam seperti zeolite, lempung, alumina dll dalam proses pirolisis ini diperlukan agar dapat mempercepat terjadinya reaksi. Dengan melalui studi literatur dari hasil penelitian terdahulu, diharapkan artikel ini dapat menambah wawasan bagi peneliti dan Mendukung program pemerintah dalam upaya mengembangkan energi terbarukan di Indonesia dengan menggunakan biomassa sebagai bahan pengganti bahan bakar.

KONTAK

sitiaristiantyh@gmail.com

KATA KUNCI

Cellulose, Pyrolysis, Bio-Oil

PENDAHULUAN

Kebutuhan energi global akan terus meningkat seiring dengan pertumbuhan penduduk dan pertumbuhan ekonomi dunia. Sedangkan sumber energi yang masih banyak digunakan di berbagai negara hingga saat ini adalah sumber energi yang berasal dari fosil seperti minyak bumi, batu bara dan gas alam yang semakin berkurang setiap

tahunnya. Penggunaan bahan bakar alternatif merupakan solusi untuk memenuhi kebutuhan bahan bakar yang semakin meningkat. (Khadafi et al., 2021)

Berdasarkan peraturan pemerintah No. 79/2014 tentang Kebijakan Energi Nasional menyatakan bahwa pada tahun 2025 target peran energi baru dan terbarukan setidaknya 23% pada tahun 2025 dan 31% pada tahun 2050 diimbangi dengan pengurangan peran minyak bumi kurang dari 25% pada tahun 2025 dan kurang dari 20% pada tahun 2050. Kondisi ini mendorong untuk mengembangkan energi terbarukan yang lebih efisien dan ramah lingkungan sebagai pengganti minyak bumi. Biomassa menjadi perhatian khusus sebagai salah satu sumber energi terbarukan untuk mengatasi krisis energi saat ini. Kandungan biomassa hemiselulosa, selulosa, dan lignin dan sejumlah kecil spesies organik dan anorganik lainnya tergantung pada jenis biomassa. Biomassa dapat diubah menjadi cairan (bio-oil), padatan (bio-char), dan produk gas dari pirolisis. (Marpaung & Simorangkir, 2021).

Biomassa yang umum yang digunakan sebagai bahan bakar adalah yang memiliki nilai ekonomis rendah atau merupakan limbah setelah diambil produk primernya. Sumber energi biomassa mempunyai beberapa kelebihan antara lain merupakan sumber energi yang dapat diperbaharui (renewable) sehingga dapat menyediakan sumber energi secara berkesinambungan (sustainable) (Parinduri & Parinduri, 2020).

Daun nanas termasuk salah satu limbah yang paling sering dibuang pada proses industri buah nanas. Penggunaan limbah daun nanas sangat minim sehingga mengakibatkan meningkatnya jumlah limbah nanas yang tidak terpakai setiap tahunnya. Berdasarkan kajian sebelumnya telah diketahui, daun nanas memiliki kandungan selulosa yang sangat tinggi. Beberapa penelitian menyebutkan bahwa kandungan selulosa yang ada pada daun nanas itu sekitar 69,9% - 70,1%. Selain selulosa, terdapat senyawa lignin yang terkandung pada daun nanas menjadikan limbah daun nanas sangat berpotensi sebagai bahan dasar dalam pembuatan adsorban (Kutlu, 2023).

Lignoselulosa merupakan campuran kompleks dari berbagai macam senyawa makromolekul. Komponen terbesar dalam biomassa lignoselulosa adalah selulosa, hemiselulosa dan lignin. Selulosa dan hemiselulosa termasuk dalam golongan polisakarida. Biomassa lignoselulosa tidak dapat dihidrolisis untuk menghasilkan senyawa gula sederhana misalnya glukosa. Hidrolisis biomassa lignoselulosa menghasilkan gula heksosa, pentose, dan berbagai macam produk samping seperti asam-asam organik, karbon dioksida CO₂, serat tumbuhan dan residu lignin (Sharma dan Saini, 2020).

Selulosa merupakan salah satu dari polisakarida yang sering terdapat pada dinding sel tumbuhan dengan jumlah paling banyak. Selulosa polisakarida linier yang tersusun atas ratusan unit β -D-glukopiranososa yang terikat melalui ikatan β (1-4)-glikosidik. Selulosa bersifat hidrofilik dan cenderung berinteraksi secara kuat dengan air. Demikian juga sebaliknya, molekul-molekul air akan dengan mudah berinteraksi dengan rantai-rantai selulosa (Kadarwati et al., 2021).

Bio-oil adalah campuran senyawa organik 50-65% berat, yang melibatkan asam, aldehida, fenol, keton, furan, guaiakol dan gula; 15-30% kelembaban; dan 20% berat fraksi koloid. Senyawa yang mengandung oksigen ini bertanggung jawab atas sifat yang tidak diinginkan seperti nilai pemanasan rendah, keasaman tinggi, ketidakstabilan, viskositas tinggi, dan ketidak bercampur dengan bahan bakar minyak bumi. Oleh karena itu, menghilangkan atom oksigen yang tidak perlu diperlukan untuk peningkatan bio-oil yang mencakup metode seperti pirolisis katalitik, HDO, retak katalitik, distilasi molekul, cairan superkritik, emulsifikasi, dan esterifikasi. (Fan et al., 2020).

Berdasarkan uraian tersebut, sintesis selulosa daun nanas dengan katalis ni/alumina menjadi bio-oil yang menjadi fokus utama dalam artikel ini. Selain itu, segala aspek yang berkaitan dalam memberikan informasi dan upaya mencapai proses ekstraksi serat dari daun nanas, pembuatan bio-oil dengan preparasi katalis yg digunakan juga akan disajikan untuk menambah ilmu dan wawasan sehingga terciptanya artikel review yang baik dan bermanfaat terkait sintesis serat daun nanas menjadi bio-oil ini.

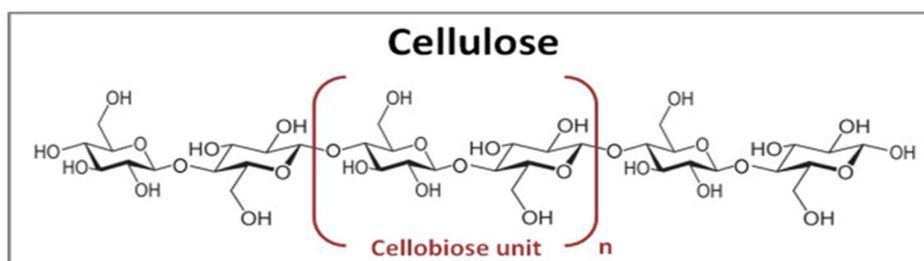
METODOLOGI

Artikel ilmiah ini merupakan kajian berbasis tinjauan literatur yang mengkaji sebuah penelitian dalam tinjauan ilmu sains dan teknologi terhadap proses pirolisis biomassa yang bisa menjadi bio-oil. data didapat melalui berbagai artikel ilmiah seperti jurnal-jurnal penelitian dengan basis data elsevier dan google scholar sebagai sumber publikasi ilmiah dengan kredibilitas tingkat nasional ataupun internasional. Pencarian dilakukan menggunakan kebenaran ilmiah, ilmu sains, segala aspek yang berhubungan dengan proses pirolisis biomassa dengan menggunakan katalis dan menjadi sebuah produk yaitu bio-oil, serta tidak membatasi pencarian pada periode waktu tertentu guna memperkaya data demi mencapai artikel ilmiah yang dapat menambah wawasan luas bagi siapapun yang membacanya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

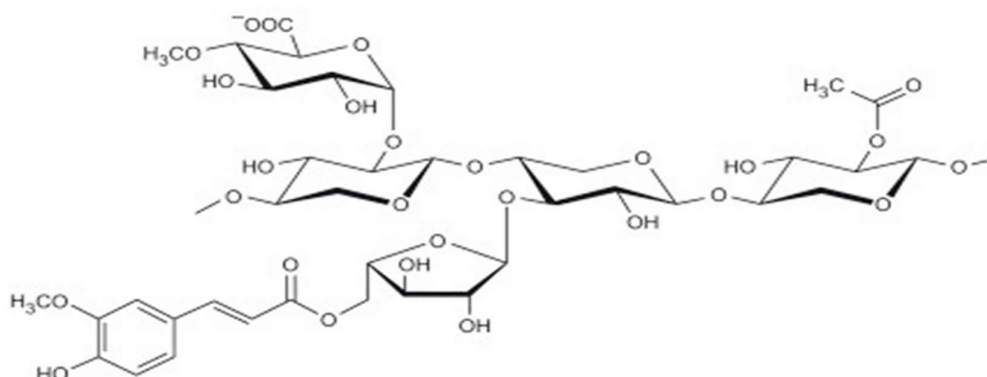
Sintesis Selulosa Biomassa

Karakteristik dan potensi biomassa memiliki komponen utama dalam bahan lignoselulosa adalah selulosa, hemiselulosa, dan lignin. ketiganya membentuk suatu ikatan kimia yang kompleks yang menjadi bahan dasar dinding sel tumbuhan. Selulosa ($C_6H_{10}O_5$)_n merupakan salah satu polimer berantai panjang dari polisakarida yang disusun dari monomer-monomer β -glukosa. Selulosa adalah karbohidrat utama yang disintesis oleh tanaman dan menempati hampir 60% komponen penyusun struktur tanaman. Selulosa merupakan salah satu dari polisakarida yang sering terdapat pada dinding sel tumbuhan dengan jumlah paling banyak. Selulosa merupakan polisakarida linier yang tersusun atas ratusan unit β -d-glukopiranosanya yang terikat melalui ikatan $\beta(1-4)$ -glikosidik (Gambar 1). Rantai-rantai selulosa terikat satu sama lain melalui ikatan hidrogen tipe OH-O untuk membentuk lembaran-lembaran datar dengan ikatan hidrogen CH-O (Chami Khazraji & Robert, 2013).



Gambar 1. Struktur Kimia Selulosa

Hemiselulosa (Gambar 2) merupakan polisakarida penting lain yang terkandung dalam biom. Polisakarida terbanyak kedua yang menyusun biomassa lignoselulosa setelah selulosa adalah hemiselulosa. Lignoselulosa dengan struktur dan ikatan yang lebih rumit dibandingkan dengan selulosa. Hemiselulosa bukan bentuk lain dari selulosa. Tidak seperti selulosa yang hanya tersusun atas unit monomer glukosa, hemiselulosa tersusun atas unit monosakarida yang berbeda. Hemiselulosa tersusun atas beberapa monosakarida pentose dan heksosa yang berbeda yaitu glukosa, xilosa, manosa, galaktosa, arabinosa, fruktosa, asam glukuronat, dan asam galakturonat dengan jumlah bervariasi bergantung pada tipe tumbuhan tempat hemiselulosa berasal. Hemiselulosa terdiri atas 50-200 unit monomer sehingga polimer hemiselulosa jauh lebih pendek dari pada polimer selulosa. Hemiselulosa diklasifikasikan berdasarkan jenis residu senyawa gula pada rantainya, yaitu xiloglukan, xilan, mannan, dan glukomannan, and β -(1 $\rightarrow$ 3,1 $\rightarrow$ 4)-glucan (Scheller dan Ulvskov, 2010; Escudero-Oñate, dkk., XXXX).



Gambar 2. Struktur Kimia Hemiselulosa

Hemiselulosa dapat berikatan dengan lignin via ikatan ester asam sinamat dan berikatan dengan selulosa melalui ikatan hidrogen (Machmudah, dkk., 2017). Dengan demikian, hemiselulosa dapat memiliki kontribusi pada tingkat kekakuan dinding sel tumbuhan karena sifatnya yang hidrofilik. Hemiselulosa juga berperan dalam menahan air pada dinding sel tumbuhan. Hemiselulosa bersifat lebih mudah terdegradasi secara kimia dan lebih mudah larut dari pada selulosa. Hemiselulosa larut dalam larutan NaOH 18,5%. Berat molekulnya yang rendah menjadikannya mudah larut dalam larutan basa encer pada temperatur di atas temperatur ruang. Konstituen utama ketiga yang menyusun biomassa lignoselulosa adalah lignin. Kandungan lignin dalam biomassa lignoselulosa bervariasi,

berkisar 10–25% bergantung pada jenis biomassa. Lignin merupakan polimer polifenol tak beraturan yang terbentuk melalui polimerisasi dehidrogenatif unit-unit fenil propanoid yaitu, coniferyl alcohol, sinapyl alcohol dan coumaryl alcohol, yang masing-masing membentuk lignin dengan struktur tipe guaiacyl (G), syringyl (S) and p-hydroxyphenyl (H) (Sannigrahi, dkk., 2010).

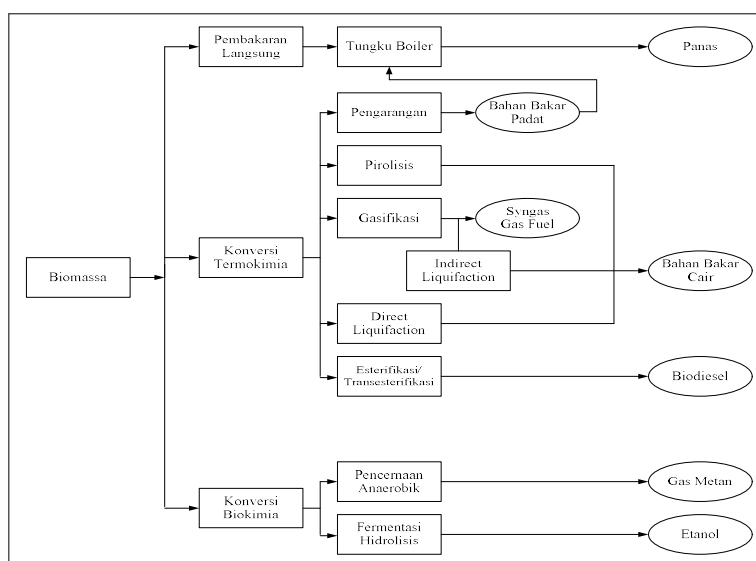
Metode modifikasi kimia selulosa terdapat dua cara yaitu homogen dan heterogen. Pada sistem homogen, selulosa larut dalam pelarut non-derivatif seperti N-dimethylacetamide/lithium chloride atau dimethylsulfoxide/tetrabutylammonium. Pelarut ini akan memecah ikatan molekular hidrogen selulosa yang kompleks dan memudahkan gugus hidroksil untuk dapat bereaksi dengan senyawa lain. Preparasi selulosa dilakukan dengan proses delignifikasi dan bleaching. Delignifikasi biasanya disebut juga dengan pulping adalah proses awal penghilangan lignin dalam material lignoselulosa sehingga hasil yang diperoleh dari pemrosesan tersebut sudah dalam bentuk selulosa dengan kemurnian yang tinggi. Tujuan dari proses delignifikasi adalah untuk menghilangkan lignin dan menurunkan kristalinitas selulosa. Proses delignifikasi menggunakan alkali atau larutan alkali seperti sodium hidroksida (NaOH) untuk membantu memisahkan lignin dari serat selulosa. NaOH banyak digunakan di industri pulp dan kertas untuk memisahkan lignin dari selulosa karena keefektifannya dan prosesnya yang ekonomis (Maryana et al., 2019).

Proses Pirolis Bio-Oil

Bio-oil adalah sejenis minyak bakar yang memiliki berat jenis tinggi, dibuat dari bahan nabati khususnya dari bahan berlignoselulosa, seperti biomassa limbah kehutanan, industri hasil hutan, dan pertanian. Bio-oil terbuat dari berbagai senyawa oksigenat organik yang berbeda-beda dan tidak bercampur dengan bahan bakar minyak pada umumnya. Hal ini karena tingginya kadar air, yakni sekitar 15–20% yang berfungsi juga sebagai pengikat ratusan molekul yang berbeda sehingga disebut sebagai emulsi mikro (Wibowo and Hendra, 2015).

Bio-oil dapat digunakan untuk pemanas rumah tangga, bahan bakar untuk boiler, atau bahan bakar langsung untuk tujuan pengeringan seperti halnya minyak residu dan bila dimurnikan atau di upgrading akan menjadi bahan bakar yang lebih murni dan tinggi kalorinya, serta bisa digunakan untuk berbagai kebutuhan dalam industri kimia, seperti halnya petroleum fuel.

Secara umum teknologi yang digunakan untuk konversi biomassa menjadi bahan bakar dapat dibedakan menjadi tiga yaitu pembakaran langsung, konversi termokimia dan konversi biokimia. Pembakaran langsung merupakan teknologi konversi biomassa yang paling sederhana karena pada umumnya biomassa dapat dibakar secara langsung. Konversi termokimia merupakan teknologi yang memerlukan perlakuan thermal untuk memicu terjadinya reaksi kimia dalam menghasilkan bahan bakar. Sedangkan konversi biokimia merupakan teknologi konversi yang menggunakan bantuan mikroba dalam menghasilkan bahan bakar.



Gambar 3. Teknologi Konversi Biomassa

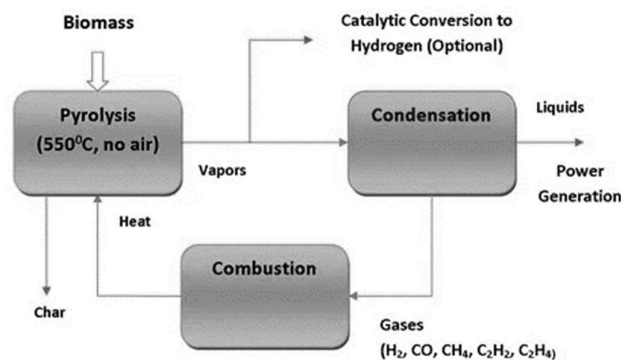
Proses yang digunakan dalam memproduksi sumber energi alternatif berupa bio-oil adalah hidrodeoksigenasi pirolisis. Hidrodeoksigenasi pirolisis merupakan proses termokimia dari dekomposisi termal biomassa menjadi molekul-molekul yang lebih kecil berupa padat, cair ataupun gas dengan menggunakan hidrogen dan nitrogen

sebagai inert. Untuk mempercepat terjadinya reaksi pada proses pirolisis, maka diperlukan adanya katalis. Pirolisis menyebabkan perubahan pada komposisi, baik fisik maupun kimiawi, dan bersifat irreversibel.

Pirolisis berbeda dengan proses pembakaran lainnya yang melibatkan reaksi dengan oksigen, air, maupun reagen lainnya biomassa dengan pemanasan maka akan menghasilkan bio-oil + Arang + gas yang tidak terkondensasi dalam proses pirolisis, akan terbentuk primary gas seiring dengan peningkatan suhu secara periodik. Primary gas ini akan mengalami kondensasi sehingga pada akhirnya menjadi liquid yang diharapkan. Dengan proses pirolisis, biomassa dan polimer akan mengalami pemutusan ikatan membentuk molekul-molekul dengan ukuran dan stuktur yang lebih ringkas. Pirolisis biomassa secara umum merupakan dekomposisi bahan organik menghasilkan bahan padat berupa arang aktif, gas dan uap serta aerosol. Gas yang dapat dikondensasikan sebagai bahan cair dan stabil pada temperatur kamar merupakan senyawa hidrokarbon yang dikenal sebagai biofuel atau Bio-oil (Ristianingsih et al., 2015).

Pirolisis merupakan teknik valorisasi biomassa yang menjanjikan untuk memperoleh bentuk energi yang mudah disimpan dan diangkut dengan energy density yang tinggi. Proses ini dioperasikan pada rentang temperatur 400-650°C. Secara umum, pirolisis dikategorikan menjadi pirolisis lambat dan pirolisis cepat, dilihat dari waktu yang digunakan untuk mengolah bahan baku menjadi produk pirolisis dan laju pemanasan. Selain itu, waktu tinggal fasa uap juga mencirikan perbedaan kedua tipe pirolisis ini. Dengan waktu tinggal fasa uap yang lama, laju pemanasan yang lebih lambat, dan biasanya temperatur operasi yang lebih rendah pada pirolisis lambat, yield biochar biasanya mendominasi (dan seringkali memang sebagai produk target) dengan yield bio-oil dan syngas yang rendah (Lu, dkk., 2009).

BIOMASS LIQUEFACTION via PYROLYSIS



Gambar 4. Kondisi Proses Pirolisis Biomassa (Zafar, 2020)

Bio-oil tersusun atas campuran uap organik seperti asam, alkohol, aldehid, eter, ester, keton, furan, fenol dan hidrokarbon. Karakteristik bio-oil yang dihasilkan sangat beragam, tergantung pada jenis umpan dan teknologi pengolahan yang digunakan. Umumnya, bio-oil dihasilkan merupakan cairan coklat kehitaman, mudah terbakar, terdiri dari hidrokarbon, bersifat asam dan viskositas tergantung kadar air yang dikandungnya. Parameter yang menjadi standar mutu bio-oil adalah massa jenis, viskositas, angka keasaman dan titik nyala.

Daun nanas termasuk salah satu limbah yang paling sering dibuang pada proses industri buah nanas. Penggunaan limbah daun nanas sangat minim sehingga mengakibatkan meningkatnya jumlah limbah nanas yang tidak terpakai setiap tahunnya. Berdasarkan kajian sebelumnya telah diketahui, daun nanas memiliki kandungan selulosa yang sangat tinggi. Beberapa penelitian menyebutkan bahwa kandungan selulosa yang ada pada daun nanas itu sekitar 69,9% - 70,1%. Selain selulosa, terdapat senyawa lignin yang terkandung pada daun nanas menjadikan limbah daun nanas sangat berpotensi sebagai bahan dasar dalam pembuatan adsorban (Kutlu, 2023).

Tandan kosong kelapa sawit (TKKS) merupakan salah satu jenis limbah padat yang paling banyak dihasilkan oleh pabrik kelapa sawit. Namun, selama ini hanya digunakan sebagai pakan ternak dan jumlahnya masih sangat kecil. Terdapat banyak TKKS yang dihasilkan dari pabrik kelapa sawit menjadi limbah biomassa. Salah satu teknologi yang dapat digunakan untuk mengatasi masalah tersebut yaitu teknologi pirolisis. Teknologi ini memiliki banyak kelebihan seperti produk Bio-oil, Bio-Char dan gas yang dihasilkan dapat menjadi alternatif solusi bagi pengendalian dampak pencemaran lingkungan (Febriyanti et al., 2019) dan Hasil dari penelitian ini didapatkan yield Bio-oil terbesar 45% pada suhu 600°C, yield gas terbesar 29,86% pada suhu 500°C dan yield bio-char terbesar 32,71% pada suhu 550°C. Nilai densitas dan viskositas Bio-oil secara berurutan yaitu 0,9938-1,0083 g/cm³ dan

3,8407-5,7456 Cst. Nilai kalor bio-char sebesar (5,5069x10⁻⁶- 5,7859x10⁻⁶) Kcal/Kg. Selain itu, berdasarkan uji GCMS komposisi Bio-oil didominasi oleh senyawa fenol dan dekanol.

Kayu akasia salah satu biomassa lain nya yang dapat dimanfaatkan, karena kayu akasia dapat hidup pada iklim tropis, subtropis dan pada berbagai jenis tanah serta dapat tumbuh pada lahan yang tidak subur Kayu akasia juga memiliki komponen selulosa yang cukup tinggi dan banyak ditemukan di Indonesia sehingga berpotensi untuk dijadikan bahan baku produksi bio-oil [Santoso, 2010]. Untuk mempercepat terbentuknya bio-oil pada proses pirolisis, dapat digunakan katalis. Salah satu bahan yang dapat dijadikan katalis adalah lempung karena lempung memiliki struktur pori, stabilitas termal tinggi, luas permukaan besar dan aktivitas katalitik yang baik sehingga berpotensi sebagai katalis. Sistem katalis logam pengemban dapat meningkatkan kemampuan lempung sebagai katalis. Pada sistem ini, logam didistribusikan ke dalam pori lempung. Logam Ni dapat digunakan sebagai logam yang diemban ke dalam lempung karena memiliki selektivitas dan aktifitas yang tinggi [Kesuma, 2012]. dan pada penelitian (Hardi et al., 2016) yield tertinggi terdapat pada penggunaan katalis Ni/lempung 5% berat dengan kadar logam 3% sebesar 66,26%. Karakterisasi sifat fisik bio-oil yang diperoleh berupa densitas 1,004 gr/ml, viskositas 1,8452 cSt, keasaman 71,6327 mg NaOH/gr sampel, dan titik nyala 46°C.

Tanaman pinus merupakan tanaman endemik Indonesia yang tersebar di Jawa, Sumatera, dan Sulawesi. Pinus merupakan tanaman serbaguna yang dikembangkan untuk penghasil kayu, produksi getah dan konservasi alam. Limbah yang dihasilkan berupa kulit pinus yang selama ini hanya dibakar dan dijadikan campuran pupuk. Hal tersebut belum optimal karena kulit pinus dapat diolah menjadi produk bio-oil sebagai sumber energi alternatif. Zeolit alam banyak bercampur dengan materi pengotor (impurities) selain zeolit. Oleh karena itu, zeolit alam perlu diaktivasi dan dimodifikasi guna meningkatkan karakternya terutama aktivitas katalitiknya. Salah satu bentuk modifikasi yang dapat dilakukan yaitu membuat katalis logam pengemban. Jenis logam yang digunakan adalah nikel, nikel merupakan logam transisi yang berfungsi sebagai promotor untuk memperbaiki kinerja katalis (aktivitas, stabilitas dan selektivitas nya) dan hasil penelitian dari (Apriyana et al., 2016) ini menghasilkan rendemen bio-oil terbesar pada penggunaan katalis Ni/NZA 8% berat dengan kandungan logam 3% sebesar 70,99%. Karakterisasi sifat fisik bio-oil diperoleh berupa densitas 0,980 gr/ml, viskositas 1,590 cSt, keasaman 32,444 mg NaOH/gram sampel, titik nyala 40 °C dan nilai kalor 44,509 MJ/kg.

Katalis berupa Zeolit merupakan katalis yang cukup efektif digunakan pada proses cracking, isomerization dan hydrocarbon alkylation. Salah satu sifat penting katalis adalah tingkat keasamannya. Keasaman zeolit dapat ditingkatkan dengan cara pengembanan logam-logam transisi yang memiliki orbital d belum terisi penuh. Pengembanan logam Mo ke dalam zeolit tidak merusak kristalinitas zeolit [Trisunaryanti et al., 2005].

Karakteristik zeolit yang unik antara lain sangat stabil dengan kemampuan adsorpsi yang sangat tinggi dan selektif serta mempunyai struktur pori (mikroporus) aktif yang banyak sehingga memiliki luas permukaan spesifik yang tinggi, hal itu menyebabkan zeolit sangat berpotensi untuk diproses lebih lanjut menjadi produk-produk yang luas aplikasinya antara lain sebagai katalis/supporting katalis, adsorben, membran yang mempunyai ekonomi tinggi dan lain-lain.

Alumina adalah sebuah senyawa kimia dari aluminium dan oksigen, dengan rumus kimia Al₂O₃. Alumina sering digunakan dalam industri sebagai adsorben, katalis dan penyangga katalis. Alumina memiliki sifat-sifat seperti keras, titik leleh tinggi, konduktivitas listrik rendah, dan tahan terhadap suhu tinggi. γ -alumina adalah bentuk yang paling umum digunakan untuk adsorpsi dan katalisis. (γ -Al₂O₃) sebagai pengemban yaitu karena mempunyai luas permukaan yang tinggi dan relatif stabil terhadap temperatur yang relatif tinggi dan tidak mudah membentuk senyawa dengan komponen didukung Selain itu, karena memiliki luas permukaan yang tinggi yaitu antara 150-300 m²/g.

KESIMPULAN

Dari hasil jurnal review ini dapat disimpulkan bahwa jenis biomassa yang memiliki komponen selulosa yang cukup tinggi yang banyak ditemukan di Indonesia berpotensi untuk dijadikan bahan baku produksi bio-oil. Karna selulosa merupakan karbohidrat utama yang disintesis oleh tanaman dan menempati hampir 60% komponen penyusun struktur tanaman. melalui teknologi konversi biomassa berupa pirolisis dihasilkan bio-oil berupa cairan coklat kehitaman, yang memiliki sifat mudah terbakar dan terdiri dari hidrokarbon, bersifat asam dan viskositas tergantung kadar air yang dikandungnya. beberapa hasil penelitian dengan biomassa yg dipilih berupa kayu akasia, tanaman pinus, serta tandan kosong kelapa sawit menunjukkan yield bio-oil yg dihasilkan optimal dikarenakan

melalui proses operasi pirolisis dengan suhu rentang tinggi yang berkisar 400-650°C yang tentunya dengan tambahan katalis untuk dapat mempercepat suatu proses reaksi.

REFERENSI

- Apriyana, A., Bahri, S., & Helwani, Z. (2016). Bio-Oil, Catalyst Ni/NZA, Hydrodeoxygenation Pyrolysis, Pine Bark 1. *Jom FTEKNIK*, 3(1), 1–8.
- Chami Khazraji, A., & Robert, S. (2013). Interaction effects between cellulose and water in nanocrystalline and amorphous regions: A novel approach using molecular modeling. *Journal of Nanomaterials*, 2013. <https://doi.org/10.1155/2013/409676>
- Erdiawansyah, Muhtadin, Asri Gani, Muhammad Faisal, Muhammad Nizar, & Yeggi Darnas. (2023). Konversi Limbah Biomassa Tandan Kosong Sawit menjadi Energi Panas. *Jurnal Serambi Engineering*, 9(1), 8002–8009. <https://doi.org/10.32672/jse.v9i1.803>
- Fan, S., Wykes, M. S. D., Lin, W. E., Jones, R. L., Robins, A. G., & Linden, P. F. (2020). Journal of Building and Environment, 107386. <https://doi.org/10.1016/j.catcom.2023.106840>
- Febriyanti, F., Fadila, N., Sanjaya, A. S., Bindar, Y., & Irawan, A. (2019). Pemanfaatan Limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit Menjadi Bio-Char, Bio-Oil Dan Gas Dengan Metode Pirolisis. *Jurnal Chemurgy*, 3(2), 12. <https://doi.org/10.30872/cmng.v3i2.3578>
- Handayani, A. W. (2010). Penggunaan Selulosa Daun Nanas Sebagai Adsorben Logam Berat Cd(II) Disusun oleh: Aries Wiwit Handayani. 11, 2–29. <http://repository.upi.edu/id/eprint/10194>
- Hardi, R. A., Bahri, S., Amri, A., Jurusan, D., Kimia, T., Teknik, F., & Riau, U. (2016). Konversi Kayu Akasia (*Acacia mangium*) menjadi Bio-oil dengan Proses Pirolisis Menggunakan Katalis Ni/Lempung. *Jom FTEKNIK*, 3(2), 1–7.
- Hidayat, P. (2008). Teknologi Pemanfaatan Serat Daun Nanas Sebagai Alternatif Bahan Baku Tekstil. *Teknoin*, 13(2), 31–35. <https://doi.org/10.20885/teknoin.vol13.iss2.art7>
- Indah Murwani Yulianti, Wibowo Nugroho Jati, D. D. K. (2018). Kemampuan Selulosa Daun Mahkota Nanas (*Ananas comosus*) Sebagai Bioadsorben Logam Tembaga (Cu). *Biota : Jurnal Ilmiah Ilmu-Ilmu Hayati*, June 2018, 70–78. <https://doi.org/10.24002/biota.v3i2.1895>
- Kadarwati, S., Apriliani, E., Annisa, R. N., & Kurniawan, C. (2021). From Waste To Energy: Konversi Termal Limbah Pengolahan Kayu Menjadi Bio-Oil Melalui Teknik Pirolisis. *Pemanfaatan Sumber Daya Alam Indonesia: Ketahanan Pangan, Energi Dan Material Maju*, 0(0 SE-Articles), 160–187. <https://bookchapter.unnes.ac.id/index.php/PSDAI/article/view/6>
- Kadarwati, S., Qurrochman, T., Kurniawan, C., Jumaeri, & Kasmui. (2020). Feasibility study on the utilization of mahogany (*Swietenia macrophylla* King) wood as a raw material in the bio-oil production. *Journal of Physics: Conference Series*, 1567(2). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1567/2/022029>
- Kesuma, A.K. 2012. Konversi Cangkang Sawit Menjadi Bio-Oil Menggunakan Katalis Ni/Mineral Alam (Lempung Cengar). Universitas Riau : Pekanbaru.
- Khadafi, M., Dewi, R., Adriana, A., Sari, R., & Hakim, L. (2021). Sintesa dan Karakterisasi Biofuel dari Limbah Laboratorium Teaching Factory Politeknik Negeri Lhokseumawe dengan Proses Catalytic Cracking. *Jurnal Serambi Engineering*, 6(4), 2415–2422. <https://doi.org/10.32672/jse.v6i4.3517>
- Kutlu, T. (2023). No Titleการบริหารจัดการการบริการที่มีคุณภาพในโรงพยาบาลสังกัดกระทรวงสาธารณสุข.วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย, 4(1), 88–100.
- Machmudah, S., Wahyudiono, Kanda, K., Goto, M. 2017. Hydrolysis of Biopolymers in Near-Critical and Subcritical Water in Water Extraction of Bioactive Compounds: From Plants to Drug Development: 69-107
- Maryana, R., Jatmiko, T. H., Prasetyo, D. J., Rizal, W. A., Suwanto, A., Praharasti, A. S., ... & Rizaluddin, A. T. (2019). Evaluation of high purity cellulose production from pretreated various agricultural biomass wastes. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 251, No. 1, p. 012001). IOP Publishing.
- Marpaung, F. R., & Simorangkir, M. (2021). Seminar Nasional Kimia Dan Pendidikan Kimia Iv. (Media webblog, motivasi belajar, hasil belajar dan ikatan kimia), 275–279. <http://digilib.unimed.ac.id/id/eprint/46934>
- Parinduri, L., & Parinduri, T. (2020). Konversi Biomassa Sebagai Sumber Energi Terbarukan. *Journal of Electrical Technology*, 5(2), 88–92. <https://www.dosenpendidikan>.
- Rahayu, P. E., Priatmoko, S., & Kadarwati, S. (2013). Konversi Minyak Sawit menjadi Biogasoline menggunakan Katalis Ni/Zeolit Alam. *J. Chem. Sci*, 2(2), 102–107. <http://journal.unnes.ac.id/sju/index.php/ijcs>

- Ristianingsih, Y., Ulfa, A., & Syafitri K.S, R. (2015). Pengaruh Suhu Dan Konsentrasi Perekat Terhadap Karakteristik Briket Bioarang Berbahan Baku Tandan Kosong Kelapa Sawit Dengan Proses Pirolisis. *Konversi*, 4(2), 16. <https://doi.org/10.20527/k.v4i2.266>
- Scheller, H.V., Ulvskov, P. 2010. Hemicelluloses. *Annual Review of Plant Biology* 61:263-289.
- Sannigrahi, P., Pu, Y., Ragauskas, A. 2010. Cellulosic biorefineries— unleashing lignin opportunities. *Current Opinion in Environmental Sustainability* 2(5–6): 383-393.
- Santoso, J. 2010. Uji Sifat Minyak Pirolisis dan Uji Performasi Kompor Berbahan Bakar Minyak Pirolisis dari Sampah Plastik. Universitas Sebelas Maret: Surakarta.
- Saputra, H., Siregar, A. L., Oktavia, R. Y., & Simatupang, D. F. (2023). Sintesis Biooil dari Limbah Pelepah Kelapa Sawit Berbasis Metode Pirolisis. *REACTOR: Journal of Research on Chemistry and Engineering*, 4(1), 12–18. <http://dx.doi.org/10.52759/reactor.v4i1.68>
- Selvia Aprilyanti. (2018). Pengaruh konsentrasi NaOH dan waktu hidrolisis terhadap kadar selulosa pada daun nanas. *Jurnal Teknik Kimia*, 24(1), 28–31. <https://doi.org/10.36706/jtk.v24i1.424>
- Soeprijanto, S., Puspita, N. F., Ningrum, E. O., Hamzah, A., Karisma, A. D., Altway, S., & Zuchrillah, D. R. (2021). Produksi Serat Kasar dari Limbah Daun Nanas Melalui Ekstraksi Mekanik di Desa Satak Kabupaten Kediri. *Sewagati*, 5(3), 307–314. <https://doi.org/10.12962/j26139960.v5i3.80>
- Studi, P., Kimia, D. T., Kimia, J. T., Teknik, F., & Riau, U. (2022). Proyek akhir.
- Trisunaryanti, W., Triwahyuni, E., dan Sudiono, S. (2005). Preparasi, modifikasi dan karakterisasi katalis Ni-Mo/Zeolit alam dan Mo-Ni/Zeolit alam. *Jurnal TEKNOIN*, Volume 10, No. 4
- Wibowo, S., Efianti, L. and Pari, G., 2017. Karakterisasi Bio-oil Tandan Kosong Kelapa Sawit Dengan Penambahan Katalis Ni / Nza Menggunakan Metode Free Fall Pyrolysis (Characterization of Palm Fruit Empty Bunches Bio-oil with the Addition of Ni / NZA Catalyst Using Free Fall Pyrolysis Method), 35(2), pp. 83–100.
- Yenti, N. (2010). Aromatik Dengan Metode Pirolisis Menggunakan Katalis Nza (Natural Zeolit deAluminated). 1–11.
- Zafar, S. 2020. Thermal Conversion of Biomass tersedia di [https://www. bioenergyconsult.com/biomass-pyrolysis/](https://www.bioenergyconsult.com/biomass-pyrolysis/)