

PENGARUH KONSENTRASI KATALIS TERHADAP RENDEMEN DAN KARAKTERISTIK FURFURAL DARI SABUT KELAPA

The Effect Of Catalyst Concentration on The Yield and Characteristics of Furfural from Coconut Husks

Dewi Arziyah¹, Anwar Kasim^{2*}, Alfi Asben², Munzir Busniah³

¹Mahasiswa Program Studi Doktor Ilmu Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Andalas

²Program Studi Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Andalas

³Program Studi Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Andalas

Email: anwar_ks@yahoo.com

ABSTRAK

Pemanfaatan buah kelapa menyisakan limbah hasil pertanian berupa sabut kelapa. Sabut kelapa muda dan sabut kelapa tua merupakan bahan berlignoselulosa yang masih dapat dimanfaatkan, salah satunya adalah dengan mengolahnya menjadi furfural. Furfural merupakan cairan bening dengan aroma khas almond yang banyak dimanfaatkan sebagai bahan tambahan oleh industri kimia. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh tingkat kematangan sabut kelapa dengan berbagai konsentrasi katalis dan perbedaan waktu reaksi terhadap rendemen furfural. Penelitian ini menggunakan dua sampel yaitu sabut kelapa tua dan sabut kelapa muda. Variasi konsentrasi yang digunakan adalah 10%, 12%, dan 14%. Variasi waktu yang digunakan adalah 20 dan 30 menit. Dari hasil pengamatan dapat diketahui bahwa konsentrasi, waktu reaksi dan jenis bahan baku menunjukkan hasil yang tidak berpengaruh nyata terhadap rendemen furfural. Sabut kelapa muda menghasilkan rendemen yang lebih tinggi dibandingkan sabut kelapa tua.

Kata kunci-Furfural; sabut kelapa; katalis; waktu; kematangan

ABSTRACT

The use of coconuts produces agricultural waste such as coconut fiber. Immature coconut fiber and mature coconut fiber are lignocellulosic materials that can still be utilized, one of which is by processing them into furfural. Furfural is a clear liquid with a distinctive almond aroma that is widely used as an additive by the chemical industry. The purpose of this study was to determine the effect of the level of coconut fiber maturity with various catalyst concentrations and differences in reaction time on furfural yield. This study used two samples: mature coconut fiber and immature coconut fiber. The concentration variations used were 10%, 12%, and 14%. The time variations used were 20 and 30 minutes. From the results, it can be seen that the concentration, reaction time and type of raw material showed no significant effect on furfural yield. Young coconut fiber produced a higher yield than mature coconut fiber.

Keywords-furfural; coconut husk; catalyst; time; maturity

PENDAHULUAN

Kelapa (*Cocos nucifera* L) merupakan tanaman perkebunan yang memberikan kontribusi besar terhadap perekonomian Indonesia. Indonesia memiliki lahan perkebunan kelapa terluas kedua setelah perkebunan kelapa sawit. Menurut Badan Pusat Statistik (2022), jumlah luas lahan tanaman kelapa mencapai 3,3 juta hektar. Sebagian besar produksi kelapa Indonesia digunakan untuk konsumsi dalam negeri dan industri. Industri-industri tersebut merupakan industri skala kecil dan menengah di dalam negeri yang membutuhkan bahan baku kelapa untuk diversifikasi produk kelapa guna memberikan nilai tambah. Produk alternatif yang dapat dikembangkan dari kelapa antara lain minyak kelapa murni (VCO), gula kelapa, oleokimia, serpihan kelapa kering, santan, dan lain-lain (Boger et al., 2018).

Tingginya pemanfaatan buah kelapa juga meningkatkan jumlah limbah yang dihasilkan. Limbah yang banyak dihasilkan dari buah kelapa adalah sabut dan tempurung kelapa. Sabut kelapa yang jumlah mencapai 35% dari tiap buah kelapa mengandung lignoselulosa. Lignoselulosa merupakan bahan baku biorefining yang penting karena ketersediaannya yang luas dan terbarukan, yang membantu mengurangi

penipisan energi. Pada sebagian besar bahan baku lignoselulosa, proporsi selulosa, hemiselulosa, dan lignin masing-masing adalah 30%-40%, 30% - 35%, dan 11% - 25% (Wang et al., 2015). Selulosa dan hemiselulosa yang dipisahkan dari lignoselulosa dapat dikonversi menjadi bahan kimia yang bernilai tinggi yaitu 5-HMF dan furfural (Zhang et al., 2022).

Furfural merupakan senyawa aldehida aromatik. Dalam keadaan murni, furfural adalah cairan kuning bening. Kontak langsung dengan udara bebas dapat mengakibatkan furfural dengan cepat berubah warna menjadi coklat tua karena konversi gugus aldehida teroksidasi menjadi gugus karboksil. Furfural memiliki bau seperti almond (Dutta et al., 2012; Maulana et al., 2020). Pertama kali diisolasi sebagai produk sampingan produksi asam format pada tahun 1821 dan kemudian diproduksi melalui hidrolisis dan dehidrasi. Pabrik produksi furfural skala besar dimulai oleh Quaker Oats Company pada tahun 1922 dengan menggunakan produk sampingan pertanian seperti ampas tebu dan tongkol jagung (Machado et al., 2016). Secara tradisional, furfural diproduksi menggunakan proses dua langkah: 1) hidrolisis biomassa lignoselulosa menggunakan panas dan asam (terutama asam sulfat) untuk melepaskan pentosa (sebagian besar xilosa) dari biomassa dan 2) siklodehidrasi pentosa menggunakan asam dan uap untuk menghasilkan furfural.

Kegunaan furfural dalam industri antara lain sebagai: 1) bahan kimia intermediat dalam pembentukan senyawa furan (*chemical intermediate*), misalnya untuk bahan baku adiponitril ($\text{CN}(\text{CN}_2)_4\text{CH}$), furfural alkohol, metil furan, pirrole, pidin, asam furoat, hidro furamid, dan tetrahidrofurfural alkohol, 3) Pembuatan resin, misalnya fenol-aldehid (fenol-furfural), 4) Zat penghilang warna untuk wood resin pada industri sabun, vernish, dan kertas, 5) Sebagai pelarut dalam industri pengolahan minyak bumi dan pembuatan pelumas (Sampepana and Sitorus, 2014) (Suharto et al., 2012).

Pembuatan furfural dari beberapa biomassa lignoselulosa telah banyak dilakukan, diantaranya dari ampas tebu, tongkol jagung, tandan kosong kelapa sawit, dan sekam padi (Arziyah et al., 2024). Proses pembuatan furfural didapat dari 2 tahap reaksi, yaitu hidrolisis dan dehidrasi. Pada tahapan hidrolisis biomassa menggunakan katalis asam, misalnya asam sulfat (Sinha A.S.K., 2019), asam klorida, asam nitrat dan lain-lain. Secara komersial, pembuatan furfural dapat berlangsung dalam siklus batch maupun kontinyu. Beberapa faktor penting yang berpengaruh terhadap pembuatan furfural adalah jenis katalis, suhu reaksi, waktu reaksi, kecepatan pengadukan, pengaruh rasio larutan dan padatan, dan pengaruh kehalusan bahan. Menurut Lee dan Wu (2021), katalis yang banyak digunakan dalam pembuatan furfural adalah H_2SO_4 , HCl , dan autokatalisis (asam format, asam asetat dan asam karboksilat yang lebih tinggi).

Rossa et al., (2015) menemukan bahwa terdapat peningkatan rendemen furfural dari konsentrasi katalis yang berbeda. Katalis asam asetat 7% menghasilkan rendemen 4,2% dan pada konsentrasi katalis 9% diperoleh rendemen 4,5%. Hasil penelitian Puke et al. (2024) menunjukkan terjadinya penurunan rendemen furfural ketika suhu lebih dari 185°C dan waktu lebih dari 30 menit. Penggunaan H_2SO_4 juga dilakukan oleh Cai (2014) pada limbah tongkol jagung pada suhu $160\text{--}165^\circ\text{C}$ menghasilkan rendemen furfural 30-35%. Raman et al (2015) menggunakan HCl dengan suhu 198°C selama 11 menit untuk memproduksi furfural dari tandan kosong kelapa sawit (TKKS) dan menghasilkan rendemen furfural sebanyak 29,3%. Oleh karena itu, dalam penelitian ini digunakan variasi konsentrasi katalis H_2SO_4 10%, 12% dan 14% dengan variasi waktu reaksi 20 dan 30 menit.

Berdasarkan hal di atas, maka pada penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh perbedaan konsentrasi katalis H_2SO_4 dan waktu reaksi terhadap rendemen furfural dari limbah sabut kelapa.

METODOLOGI PENELITIAN

A. Bahan dan Alat

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah sabut kelapa tua dan sabut kelapa muda. Sabut kelapa dihaluskan dengan menggunakan alat penggiling. Partikel yang diambil adalah lolos ayakan 20 mesh. Bahan kimia yang digunakan adalah katalis asam sulfat/ H_2SO_4 (98%, p.a Merck), kloroform/ CHCl_3 (p.a Merck), NaCl (p.a Merck), aquadest

Alat yang digunakan untuk mensintesis furfural pada penelitian ini adalah rangkaian alat destilasi, corong pemisah, vacuum evaporator. Alat yang digunakan untuk analisis antara lain oven, termometer, piknometer, refraktometer Abbe, dan *hot plate*.

B. Persiapan Bahan Baku

Bahan utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah sabut kelapa sabut kelapa muda. Sabut kelapa dikeringkan dengan lalu dihaluskan dengan menggunakan alat penggiling. Partikel yang digunakan sebagai bahan baku sintesis furfural adalah sabut yang lolos ayakan 20 mesh.

C. Sintesis Furfural

Sebanyak 10 g bubuk sabut kelapa dimasukkan ke dalam labu distilasi dan didistilasi bersama dengan 62,5 g NaCl dan 250 ml H₂SO₄ 14%. Distilat ditampung pada Erlenmeyer yang telah diisi dengan 50 ml kloroform. Distilasi dilakukan pada beberapa sampel sesuai perlakuan pada suhu 180°C. Distilat akan dipisahkan menjadi dua lapisan. Lapisan atas adalah air, dan lapisan bawah adalah kloroform yang tercampur dengan furfural, yang dihasilkan selama proses. Selanjutnya dilakukan pemisahan dengan menggunakan corong pemisah untuk memisahkan fasa atau larutan furfural dalam kloroform. Kemudian dilakukan pemisahan furfural dari kloroform dengan menggunakan *vacuum evaporator* dengan suhu 60°C, selanjutnya dilakukan identifikasi furfural dengan anilin asetat, analisis rendemen, densitas, titik didih, dan indeks refraktif.

D. Prosedur Pengamatan

Analisa pengamatan yang dilakukan antara lain identifikasi furfural dengan anilin asetat (Rosmiati et.al.,2003), analisis rendemen (Sudarmadji et.al.,2007), densitas dengan menggunakan piknometer (Rosmiati et.al.,2003), titik didih (Rosmiati et.al.,2003), dan analisis indeks refraktif (Rosmiati et.al.,2003)

E. Rancangan Penelitian

Penelitian ini menggunakan dua sampel yaitu sabut kelapa tua dan sabut kelapa muda. Variasi konsentrasi yang digunakan adalah 10%, 12%, dan 14%. Variasi waktu yang digunakan adalah 20 dan 30 menit. Data hasil penelitian dilakukan pengujian dengan uji ANOVA dan dilakukan uji lanjut DMRT jika berbeda nyata.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sabut kelapa merupakan bagian mesokarp buah kelapa yang terdiri dari serat (*fiber*) dan serbuk (*coco pith*). Dalam penelitian ini menggunakan sabut kelapa dari buah kelapa muda dan sabut dari buah kelapa tua. Sabut kelapa tua memiliki serat yang lebih panjang, kasar, kuat, dan kaku. Hal ini disebabkan oleh tingginya kandungan lignin serta selulosa yang lebih stabil. Sabut kelapa muda memiliki tekstur serat yang lebih halus, lembut, dan relatif pendek. Kandungan ligninnya lebih rendah dibandingkan sabut kelapa tua, sedangkan kadar air lebih tinggi (Arziah et.al., 2025).

A. Rendemen

Rendemen furfural merupakan jumlah (persentase) furfural yang dihasilkan dari suatu bahan baku dibandingkan dengan total bahan baku yang digunakan. Tabel 1 menunjukkan persentase rendemen yang dihasilkan dari limbah sabut kelapa muda dan sabut kelapa tua pada berbagai konsentrasi katalis dan perbedaan waktu reaksi.

Sampel	Waktu	Rata-rata Rendemen (%) pada Konsentrasi Katalis		
		10%	12%	14%
Sabut Kelapa Muda	20 menit	9,51 ±0,91 ^e	11,75±0,92 ^{bcd}	11,99±0,61 ^{bc}
	30 menit	10,91±0,85 ^{cd}	11,88±0,95 ^{bc}	12,89±0,64 ^{ab}
Sabut Kelapa Tua	20 menit	7,21 ± 0,63 ^g	9,067 ± 0,35 ^{ef}	10,67 ± 0,74 ^d
	30 menit	8,4 ± 0,79 ^f	10,70 ± 0,72 ^d	13,14 ± 0,28 ^a

Keterangan : angka yang ditandai dengan notasi huruf yang berbeda pada kolom yang sama menunjukkan ada perbedaan yang nyata menurut DMRT ($\alpha < 0,05$) antar perlakuan.

Dari hasil uji statistik tidak menunjukkan adanya pengaruh signifikan antara tingkat kematangan dan waktu destilasi akan tetapi ada pengaruh antara variasi konsentrasi katalis yang digunakan.

Konsentrasi katalis 14% dengan waktu destilasi 20 dan 30 menit pada sabut kelapa tua tidak berpengaruh nyata terhadap variasi konsentrasi 10% dan 12%. Hasil rendemen pada pengujian menggunakan sabut kelapa muda pada waktu 20 menit konsentrasi katalis 10% tidak berpengaruh nyata terhadap variasi konsentrasi katalis 12% dan 14%.

Pada Tabel 1, menunjukkan rendemen tertinggi diperoleh pada sabut kelapa muda. Menurut Arziah (2025), sabut kelapa muda memiliki kandungan hemiselulosa yang lebih tinggi dibandingkan dengan sabut kelapa tua. Salah satu faktor yang mempengaruhi jumlah rendemen furfural yang dihasilkan adalah bahan baku, dimana kandungan hemiselulosa dalam bahan baku (limbah pertanian) mempengaruhi potensi hasil furfural (Arziah et al., 2024). Semakin meningkatnya rendemen furfural menunjukkan bahwa proses ekstraksi atau sintesis yang dilakukan lebih efisien yang berarti lebih banyak furfural yang dihasilkan dari bahan baku yang sama.

1. Identifikasi Furfural dengan Anilin Asetat

Untuk memastikan hasil yang diperoleh mengandung furfural, dilakukan identifikasi furfural dengan anilin asetat. Sampel diuji dengan meneteskan larutan anilin:asetat (1:1). Tabel 2 menunjukkan hasil identifikasi furfural dengan anilin asetat.

Berdasarkan pengamatan, setiap sampel furfural yang diuji menghasilkan warna merah ketika direaksikan dengan anilin asetat, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2. Hal ini menunjukkan bahwa semua sampel yang diperoleh adalah furfural. Reaksi kondensasi antara furfural dan anilin menghasilkan dianil hidroksi glukonat dialdehida, yang menyebabkan warna berubah menjadi merah tua (Rezekinta et al., 2021). Lebih lanjut, (Pressure, 2014) menjelaskan reaksi yang terjadi ketika anilin asetat direaksikan dengan furfural. Reaksi terjadi dalam dua tahap. Tahap pertama melibatkan pembentukan warna kuning, yang kemudian bereaksi dengan anilin, mengakibatkan pemecahan cincin furfural untuk membentuk dialdehida. Reaksi ini digunakan sebagai uji furfural karena furfural memiliki sifat kimia yang menyebabkan warna yang berbeda ketika direaksikan dengan anilin.

Tabel 2. Hasil Identifikasi Furfural dengan Anilin Asetat pada Berbagai Konsentrasi Katalis dan Waktu Reaksi

Sampel	Waktu	Hasil Identifikasi Furfural dengan Anilin Asetat pada Konsentrasi Katalis					
		10%		12%		14%	
		Warna	Hasil	Warna	Hasil	Warna	Hasil
Sabut Kelapa Muda	20 menit	Merah tua	+	Merah tua	+	Merah tua	+
	30 menit	Merah tua	+	Merah tua	+	Merah tua	+
Sabut kelapa Tua	20 menit	Merah tua	+	Merah tua	+	Merah tua	+
	30 menit	Merah tua	+	Merah tua	+	Merah tua	+

2. Karakteristik Fisik

Karakteristik rendemen furfural yang diperoleh dari sampel sabut kelapa tua dan sabut kelapa muda dengan perlakuan variasi waktu dan suhu terhadap titik didih, densitas dan indeks refraktif dapat diamati pada Tabel 3 berikut ini.

Tabel 3. Karakteristik Fisik Furfural

Sampel	Konsentrasi H ₂ SO ₄	Waktu (menit)	Karakteristik Fisik		
			Titik Didih (°C)	Densitas (g/ml)	Indeks Bias (°Brix)
Sabut Kelapa Muda	10%	20	160±0,001	1,157±0,006	1,507±0,01
		30	160±0,002	1,156±0,002	1,507±0,02
	12%	20	159±0,010	1,156±0,006	1,511±0,01
		30	161±0,007	1,158±0,002	1,511±0,002
	14%	20	160±0,02	1,157±0,003	1,512±0,002
		30	161±0,03	1,161±0,006	1,513±0,01
Sabut Kelapa Tua	10%	20	160±0,005	1,155±0,004	1,511±0,01
		30	159±0,015	1,157±0,003	1,511±0,01
	12%	20	161±0,007	1,157±0,001	1,515±0,002
		30	159±0,012	1,158±0,002	1,511±0,01
	14%	20	160±0,004	1,159±0,001	1,514±0,02
		30	162±0,005	1,160±0,005	1,514±0,003

Titik Didih

Titik didih merupakan karakteristik zat murni yang bergantung pada jenis ikatan antarmolekul dan kondisi tekanan. Titik didih adalah suhu fase zat cair berubah menjadi fase gas ketika tekanan cairan sama dengan tekanan atmosfer (Garcia et al., 2015).

Dari hasil pengujian statistik, perbedaan tingkat kematangan, variasi konsentrasi dan waktu destilasi tidak berpengaruh nyata terhadap titik didih furfural yang dihasilkan. Berdasarkan Tabel 3, titik didih furfural berkisar antara 159°C sampai 162°C, sehingga rata-rata titik didih furfural hasil penelitian masih dalam rentang yang telah ditentukan. Furfural memiliki titik didih 162°C (Gebre et al., 2015). Menurut Gao et al. (2015) densitas berhubungan dengan titik didih, semakin tinggi densitas, semakin rendah titik didih. Perlakuan sabut kelapa tua waktu 30 menit dengan konsenrasi 14% memiliki titik didih 162°C. Saat melakukan pengamatan, tekanan udara menyebabkan hal ini. Perbedaan tekanan dapat menyebabkan perbedaan titik didih larutan. Ketika tekanan dalam ruang bertekanan sedikit berbeda dari 760 mmHg, titik didih cairan organik menyimpang dari nilai yang ditentukan (Firdaus, 2011).

Densitas

Densitas merupakan kerapatan atau biasa disebut dengan ukuran dari berat jenis suatu cairan, pengukuran densitas suatu bahan dapat dilakukan dengan metode piknometer. Prinsip metode ini didasarkan atas penentuan massa cairan dan penentuan ruang yang ditempati cairan ini (Purba et al., 2021). Tabel 3 menunjukkan densitas pada sabut kelapa berkisar antara 1,157 g/ml – 1,161 g/ml. Menurut Zachariah et al (2019), nilai densitas dipengaruhi oleh suhu, alat ukur dan kemurnian. Berdasarkan literatur tersebut nilai densitas furfural adalah 1,16 g/ml pada suhu 20°C, tekanan 1 atm.

Dari hasil pengujian statistik menunjukkan tidak ada pengaruh signifikan akibat perbedaan tingkat kematangan, variasi konsentrasi katalis dan waktu destilasi terhadap densitas furfural yang dihasilkan.

Indeks Bias

Indeks bias adalah salah satu sifat fisik yang digunakan untuk mengkarakterisasi furfural yang diperoleh dari biomassa (Mitarlis et al., 2011). Pengukuran indeks bias menggunakan refraktometer abbe. Hasil uji indeks bias menunjukkan tingkat kemurnian furfural yang diuji yang ditunjukkan pada Tabel 3. Dari hasil pengujian statistik, tidak ada pengaruh signifikan antara perbedaan kematangan sabut kelapa, variasi konsentrasi katalis dan waktu destilasi terhadap indeks bias furfural yang dihasilkan.

Hasil pengukuran menunjukkan bahwa indeks refraktif furfural yang diperoleh dalam penelitian ini adalah berkisar antara 1,507 – 1,511 °Brix pada suhu pengukuran sekitar 25°C. Nilai ini lebih rendah dibandingkan dengan data literatur, yaitu 1,526 pada 20°C (Lide 2005; Kaatze 2021, Mitarlis et al., 2011). Berdasarkan literatur, indeks refraktif furfural hanya menurun sekitar 0,0003 per kenaikan 1 °C, sehingga pada suhu 25°C seharusnya nilai yang diperoleh berada pada kisaran 1,525 (Wohlfarth, 2017). Dengan demikian perbedaan hasil penelitian dan literatur selain dipengaruhi oleh suhu juga dipengaruhi oleh faktor lain seperti kemurnian sampel. Sampel yang digunakan mengandung pelarut atau adanya zat selain furfural dalam sampel yang diteliti, seperti asam format, etanol, asam asetat, dan pirolidina. Selain itu, perbedaan panjang gelombang cahaya yang digunakan pada alat refractometer juga mempengaruhi hasil pembacaan indeks refraktif.

KESIMPULAN DAN SARAN

Dari hasil pengamatan dapat diketahui bahwa konsentrasi, waktu reaksi dan jenis bahan baku mempengaruhi rendemen furfural yang dihasilkan akan tetapi tidak berpengaruh nyata terhadap karakteristik furfural. Dari hasil pengujian dengan menggunakan variasi konsentrasi katalis dan waktu destilasi menunjukkan sabut kelapa muda menghasilkan rendemen yang lebih tinggi dari sabut kelapa tua.

DAFTAR PUSTAKA

Arziyah, D., Kasim, A., Asben, A., Busniah, M., 2024. Tinjauan Literatur : Analisis Hubungan Kandungan Hemiselulosa dan Rendemen Furfural. Menara Ilmu 18, 103–113. <https://doi.org/10.31869/mi.v18i1.5557>

- Arziyah, D., Kasim, A., Asben, A., Busniah, M., 2025. Analysis of the Chemical Content of Coconut Husk as a Raw Material for Furfural Production. *J. of Appl. Agric Sci Tech.* 9, 413-424. <https://doi.org/10.55043/jaast.v9i3.393>
- Badan Pusat Statistik, 2022. *Propinsi Sumatera Barat dalam Angka 2023*, 1st ed. Badan Pusat Statistik Prov. Sumatera Barat.
- Boger, T., Bianchi, S., Salzer, C., Pichelin, F., 2018. Binderless boards made of milled coconut husk: an analysis of the technical feasibility and process restraints. *Int. Wood Prod. J.* 9, 3–8. <https://doi.org/10.1080/20426445.2017.1400756>
- Dutta, S., De, S., Saha, B., Alam, Md.I., 2012. Advances in conversion of hemicellulosic biomass to furfural and upgrading to biofuels. *Catal. Sci. Technol.* 2, 20–25. <https://doi.org/10.1039/c2cy20235b>
- Gao, X., Zhu, S., Li, Y., 2015. Graphene oxide as a facile solid acid catalyst for the production of bioadditives from glycerol esterification. *Catal. Commun.* 62, 48–51. <https://doi.org/10.1016/j.catcom.2015.01.007>
- Garcia, J.I., Dobado, J.A., Calvo-Flores, F.G., Martínez-García, H., 2015. Determining Physical and Spectroscopic Properties, in: *Experimental Organic Chemistry: Laboratory Manual*. Elsevier.
- Gebre, H., Fisha, K., Kindeya, T., Gebremichael, T., 2015. Synthesis of Furfural from Bagasse. *Int. Lett. Chem. Phys. Astron.* 57, 72–84. <https://doi.org/10.56431/p-5301hc>
- Lee, C., Wu, T., 2021. A review on solvent systems for furfural production from lignocellulosic biomass. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 137, 110172. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110172>
- Machado, G., Leon, S., Santos, F., Lourega, R., Dullius, J., Mollmann, M.E., Eichler, P., 2016. Literature Review on Furfural Production from Lignocellulosic Biomass. *Nat. Resour.* 07, 115–129. <https://doi.org/10.4236/nr.2016.73012>
- Maulana, M.I., Marwanto, M., Nawawi, D.S., Nikmatin, S., Febrianto, F., Kim, N.H., 2020. Chemical components content of seven Indonesian bamboo species. *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.* 935, 012028. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/935/1/012028>
- Mitarlis, Ismono, Tukiran, 2011. Pengembangan Metode Sintesis Furfural Berbahan Dasar Campuran Limbah Pertanian Dalam Rangka Mewujudkan Prinsip Green Chemistry. *J. Mns. Dan Lingkungan.* 18, 191–199.
- Puke, M., Godina, D., Brazdausks, P., 2024. Catalyzed Hydrothermal Pretreatment of Oat Husks for Integrated Production of Furfural and Lignocellulosic Residue. *Polymers* 16, 707. <https://doi.org/10.3390/polym16050707>
- Purba, W.F., Jalaluddin, J., Zulnazri, 2021. Hidrolisis Furfural Dari Tongkol Jagung Dengan Katalisator Asam Asetat. *J. Teknol. Kim. Unimal* 10, 37. <https://doi.org/10.29103/jtku.v10i2.5473>
- Rezekinta, F.A.G., Kasim, A., Nazir, N., Failisnur, F., 2021. Utilization of mensiang (*Actinoscopus grosus* L.) as a cellulose-rich material for furfural synthesis. *J. Litbang Ind.* 11, 117. <https://doi.org/10.24960/jli.v11i2.7212.117-123>
- Rossa, N.T., Iryani, D.A., Yuwono, S.D., 2015. Sintesis Furfural dari Bagas Tebu Via Reaksi Hidrolisa dengan Menggunakan Katalis Asam Asetat pada Kondisi Atmosferik. *J. Rekayasa Kim. Lingkungan.* 10, 157–164. <https://doi.org/10.23955/rkl.v10i4.3314>
- Sampepana, E., Sitorus, S., 2014. Identifikasi Komponen Senyawa Kimia Tandan Kosong Kelapa Sawit Kromatografi Gas - Spektrometer Massa (GC-MS). *J. Ris. Teknol. Ind.* 8, 123–132. <https://doi.org/10.26578/jrti.v8i16.1560>
- Sinha A.S.K., 2019. Furfural Production From Rice Straw Using Oxalic Acid Hydrolysis & Sulphuric Acid Dehydration Pretreatment. *Pramana Res. J.* 9, 467–477.
- Suharto, S., Susanto, H., Pudjiono, P.I., 2012. Proses Pemurnian Crude Furfural. *J. Sains MIPA Univ. Lampung* 13.
- Zhang, X., Zhu, P., Li, Q., Xia, H., 2022. Recent Advances in the Catalytic Conversion of Biomass to Furfural in Deep Eutectic Solvents. *Front. Chem.* 10, 911674. <https://doi.org/10.3389/fchem.2022.911674>
- Zachariah Steven Baird, Petri Uusi-Kyyny, Juha-Pekka Pokki, Emilie Pedegert, Ville Alopaeus. 2019. “Vapor Pressures, Densities, and PC-SAFT Parameters for 11 Bio-compounds.” *International Journal of Thermophysics*, 40:102. <https://doi.org/10.1007/s10765-019-2570-9> 6 Nov 2019