

HIDROLISIS AMPAS TEBU MENJADI FURFURAL DENGAN KATALISATOR ASAM SULFAT BERBANTUKAN GELOMBANG MIKRO

Arief Adhiksana^{1,*}), Cantika Nawang Wulan²⁾, dan Nurul Hidayatul Islamiyah²⁾

¹⁾ Program Studi Petro dan Oleo Kimia, Teknik Kimia, Politeknik Negeri Samarinda, Samarinda, Indonesia

²⁾ Program Studi Teknologi Kimia Industri, Teknik Kimia, Politeknik Negeri Samarinda, Samarinda, Indonesia

^{*)} Email : adhiksana@polnes.ac.id

(Received : 21-02-22 ; Revised: 02-03-22; Accepted: 25-03-22)

Abstrak

Tebu yang merupakan bahan proses pembuatan gula memiliki tingkat produksi yang tinggi di Indonesia. Hasil samping dari proses ini berupa ampas tebu yang jumlahnya mencapai 35–40% dari tebu gilingan. Pemanfaatan kembali ampas tebu masih belum optimal, padahal ampas tebu kaya akan pentosan dengan persentase 29,97% yang dapat diolah menjadi furfural dengan metode hidrolisis. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui pengaruh konsentrasi katalisator asam sulfat dan waktu hidrolisis dalam pembuatan furfural dari ampas tebu berbantuan gelombang mikro. Pada penelitian ini ampas tebu dikeringkan dan diayak dengan ukuran -20 +70 mesh. Proses dijalankan menggunakan 15 gram ampas tebu pada variasi konsentrasi asam sulfat antara 1,5 M sampai dengan 3,5 M sebanyak 450 mL dan variasi waktu hidrolisis antara 20 menit sampai dengan 40 menit. Campuran dihidrolisis dengan bantuan gelombang mikro berdaya 600 W 50 Hz. Hidrolisat disaring dan filtratnya ditambahkan dengan kloroform untuk memisahkan furfural dengan sisa asam dan air. Produk furfural dianalisa kualitatif menggunakan anilin asetat dan analisa kuantitatif dengan *Gas Chromatography* (GC). Berdasarkan hasil analisa kualitatif, perubahan warna sampel dari kuning menjadi merah menandakan terbentuknya furfural. Akan tetapi, konsentrasi furfural yang didapatkan masih belum diketahui hasilnya secara kuantitatif menggunakan GC.

Kata kunci: ampas tebu; asam sulfat; furfural; gelombang mikro; hidrolisis

Abstract

Sugarcane, which is an ingredient in the sugar-making process, has a high level of production in Indonesia. The by-product of this process is bagasse which amounts to 35–40% of milled sugarcane. The reuse of bagasse is still not optimal, even though bagasse is rich in pentosan with a percentage of 29.97% which can be processed into furfural by the hydrolysis method. The purpose of this study was to determine the effect of sulfuric acid catalyst concentration and hydrolysis time in the production of furfural from bagasse using microwaves. In this study, the bagasse was dried and sieved with a size of -20 +70 mesh. The process was carried out using 15 grams of bagasse at various concentrations of sulfuric acid between 1.5 M to 3.5 M as much as 450 mL and variations in hydrolysis time between 20 minutes to 40 minutes. The mixture was hydrolyzed with microwave assisted with a power of 600 W 50 Hz. The hydrolyzate was filtered and the filtrate was added with chloroform to separate the furfural from the remaining acid and water. Furfural products were analyzed qualitatively using aniline acetate and quantitative analysis by Gas Chromatography (GC). Based on the results of qualitative analysis, a change in the color of the sample from yellow to red indicates the formation of furfural. However, the concentration of furfural obtained is still not known quantitatively using GC.

Keywords: bagasse; furfural; hydrolysis; microwave; sulfuric acid

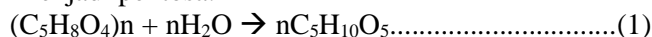
PENDAHULUAN

Tebu (*Saccharum officinarum* Linn) merupakan tanaman yang hanya dapat tumbuh di daerah beriklim tropis dan subtropis. Pada umumnya tebu digunakan sebagai bahan baku dalam proses pembuatan gula. Menurut Pusat Penelitian Perkebunan Gula Indonesia (P3GI) memperkirakan produksi tebu di Indonesia mencapai 2,213 juta ton pada tahun 2020. Dengan banyaknya produksi tebu, limbah ampas tebu yang dihasilkan juga semakin banyak. Jumlah limbah ampas tebu dapat mencapai 35–40% dari tebu gilingan. Maka dapat diperkirakan limbah ampas tebu yang dihasilkan pada tahun 2020 mencapai 774.550 hingga 885.200 ton (Anwar, 2021).

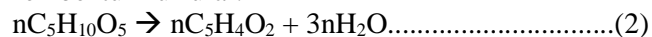
Ampas tebu mengandung air 48-52%, abu 3,82%, lignin 22,09%, selulosa 37,65%, pentosan 29,97%, silika 3,01% dan gula pereduksi 3,3% (Eka dkk., 2013). Dengan kandungan pentosan yang cukup tinggi, ampas tebu berpotensi diolah sebagai bahan baku pembuatan furfural melalui proses hidrolisis pentosan.

Hidrolisis yang dilakukan dalam proses pembuatan furfural merupakan hidrolisis asam. Hidrolisis asam merupakan tahapan paling penting dalam pembentukan furfural. Reaksi pembentukan furfural melalui dua tahap, yaitu reaksi pertama hidrolisis pentosan menjadi pentosa dan dilanjutkan dengan reaksi kedua yaitu dehidrasi pentosa membentuk furfural.

Hidrolisis pentosan menjadi pentosa:



Dehidrasi pentosa membentuk furfural:



Pada proses hidrolisis, pentosa merupakan produk antara dan tidak semuanya akan menjadi furfural. Sehingga pada akhir hidrolisis, dalam hidrolisatnya juga dapat terkandung senyawa organik lainnya seperti metanol (Brownlee, 1948 dalam Rahim & Nadir, 2015).

Gelombang mikro yang dipancarkan oleh *microwave* digunakan untuk membantu pemanasan dalam proses hidrolisis, mempersingkat waktu hidrolisis dan membantu peningkatan hasil furfural yang diperoleh. Panas yang dihasilkan dari *microwave* berasal dari gelombang mikro dalam oven *microwave* yang akan memutar molekul air. Molekul air yang bersifat polar dapat menimbulkan medan elektrik. Medan elektrik menyebabkan pergerakan dan gesekan molekul yang dapat menimbulkan panas (*dielectric heating*) dari dalam bahan, sehingga mampu memanaskan bahan pada target yang spesifik dan dapat mencegah hilangnya panas ke lingkungan (Taylor, 2005 dalam Rahim dan Nadir, 2015).

Furfural ($C_5H_4O_2$) merupakan senyawa yang kurang larut dalam air, namun larut dalam alkohol, eter, dan benzena. Kegunaan furfural dalam industri antara lain sebagai bahan kimia intermediet (*chemical intermediete*), *selective solvent* dalam pemurnian minyak bumi maupun minyak nabati, serta zat penghilang warna untuk *wood* resin industri sabun, *vernish*, dan kertas (Kirk and Othmer, 1955 dalam Andaka, 2011).

Beberapa faktor penting yang berpengaruh terhadap pembuatan furfural dari adalah:

a. Konsentrasi Katalisator

Hasil furfural akan bertambah dengan semakin besarnya konsentrasi katalisator yang digunakan. Hal ini disebabkan oleh bertambahnya jumlah pereaksi yang teraktifkan sehingga konstanta kecepatan reaksi menjadi besar dan kecepatan reaksi bertambah cepat pula. Tetapi setelah mencapai konsentrasi asam yang optimum maka hasil furfural akan menurun. Hal ini disebabkan karena peruraian furfural menjadi asam furoat sebagai hasil dari pemecahan gugus aldehid dan terbentuk sejenis damar yang berwarna hitam (Dunlop, 1948).

b. Rasio Larutan dengan Padatan

Semakin besar volume larutan maka hasil furfural yang diperoleh semakin besar. Dengan volume larutan yang semakin besar maka kemungkinan terjadinya tumbukan antar molekul pentosan dengan molekul air semakin besar (Groggins, 1958).

c. Waktu Reaksi Hidrolisis

Makin lama waktu reaksi, hasil furfural makin bertambah, ini disebabkan karena adanya kontak antara zat-zat yang bereaksi dapat lebih lama. Akan tetapi pertambahan hasil ini tidak selamanya terjadi. Pada suatu saat akan diperoleh hasil yang maksimum dan setelah hasil maksimum tercapai, makin lama hasil furfural semakin berkurang, karena pada waktu yang lebih lama ada kemungkinan pecahnya furfural menjadi “furan”, yang disebabkan rusaknya furfural akibat pemanasan yang terus menerus (Griffin, 1921).

d. Suhu Reaksi

Pada umumnya kenaikan suhu akan meningkatkan kecepatan hidrolisis, tergantung pada karakteristik-karakteristik khusus seperti jenis asam, konsentrasi asam, harga pH, kekuatan asam, suhu dan tekanan. Reaksi akan berjalan cepat apabila suhu dinaikkan. Hal ini karena gerakan-gerakan molekul menjadi lebih cepat dengan bertambahnya suhu reaksi (Groggins, 1958).

e. Ukuran Partikel

Semakin kecil ukuran butir maka semakin luas bidang persentuhan antar zat pereaksi, sehingga kontak antar molekul juga semakin besar. Sehingga, sesuai dengan persamaan Arrhenius yaitu semakin kecil ukuran butir maka nilai A (faktor frekuensi tumbukan) semakin besar sehingga nilai konstanta kecepatan reaksi akan semakin besar pula (Griffin, 1921).

f. Gelombang Mikro

Menurut Sweyggers et al. (2018), pembentukan furfural juga dipengaruhi oleh gelombang mikro. Penggunaan gelombang mikro mampu mempersingkat waktu reaksi. Menurut Adhiksana dkk. (2019), gelombang mikro memberikan pemanasan yang lebih merata karena pemanasan terjadi melalui interaksi langsung antara bahan dengan gelombang mikro sehingga pemanasan dengan gelombang mikro lebih cepat. Hal tersebut mengakibatkan transfer energi berlangsung lebih cepat dibandingkan dengan pemanasan konvensional.

Penelitian pembuatan furfural dari ampas tebu dengan metode konvensional dilakukan oleh Andaka (2011). Pada penelitian ini menggunakan 5 gram ampas tebu dan konsentrasi asam sulfat (H_2SO_4) 12% sebanyak 150 mL dengan memvariasikan waktu hidrolisis 30 menit sampai dengan 150 menit. Diperoleh kondisi optimum hasil furfural pada waktu hidrolisis 120 menit dengan *yield* sebesar 5,67%.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Sweyggers et al. (2018) dilakukan pembuatan furfural dari senyawa xilan menggunakan *microwave* dengan daya 400 watt. Pada penelitian ini menggunakan 100 mg senyawa xilan dengan memvariasikan konsentrasi katalisator asam klorida (HCl) 0,3 M, 0,36 M, dan 7 M sebanyak 5 mL, serta waktu hidrolisis 1 menit sampai dengan 11 menit. Diperoleh kondisi optimum hasil furfural pada waktu hidrolisis 1 menit dan konsentrasi HCl 0,36 M dengan *yield* sebesar 30,52%.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Anwar (2021) dilakukan pembuatan furfural dari ampas tebu menggunakan *microwave* dengan daya 300 watt dan 450 watt. Pada penelitian ini menggunakan 15 gram ampas tebu dan konsentrasi asam sulfat (H_2SO_4) 4% sebanyak 500 mL dengan memvariasikan waktu hidrolisis 5 menit, sampai dengan 35 menit. Namun, dalam penelitian ini furfural tidak diperoleh.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan Andaka (2011) membuktikan bahwa furfural dapat dihidrolisis dari bahan dasar pentosan yang terkandung dalam ampas tebu, akan tetapi waktu hidrolisis yang dibutuhkan lebih lama. Sedangkan penelitian yang dilakukan Sweyggers et al. (2018) dan Anwar (2021) proses hidrolisis dalam pembuatan furfural menggunakan *microwave* sebagai metode ekstraksi modern yang bertujuan untuk mempersingkat waktu hidrolisis, namun pada penelitian Anwar (2021) furfural tidak diperoleh. Hal ini dikarenakan proses hidrolisis menggunakan daya *microwave* (300 watt dan 450 watt) dan konsentrasi asam sulfat (H_2SO_4 4%) yang rendah, sehingga tidak dapat mencapai pada titik pentosan terkonversi hingga menjadi furfural.

Pada penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh konsentrasi katalisator asam sulfat dan waktu hidrolisis dalam pembuatan furfural dari ampas tebu berbantuan gelombang mikro. Pembuatan furfural dari ampas tebu dilakukan dengan variasi konsentrasi asam sulfat 1,5M sampai dengan 3,5M dan waktu hidrolisis 20 menit sampai dengan 40 menit dimana proses hidrolisis berbantuan gelombang mikro untuk mempersingkat waktu hidrolisis dengan daya *microwave* 600 watt.

METODOLOGI

Penelitian akan dilakukan melalui tahap-tahap sebagai berikut:

Tahap Preparasi

Ampas tebu didapatkan dari penjual es sari tebu yang berada di daerah Kelurahan Sungai Keledang, Kecamatan Samarinda Seberang. Ampas tebu dikeringkan dengan bantuan sinar matahari. Kemudian mengecilkan ukuran ampas tebu menggunakan *food processor* dan mengayak dengan ukuran -20 +70 mesh. Ampas tebu yang telah diayak kemudian dioven selama 4 jam pada suhu 105°C.

Tahap Hidrolisis

15 gram ampas tebu yang telah kering dimasukkan ke dalam labu leher tiga 1000 mL dan dicampur dengan 450 mL asam sulfat pada variasi konsentrasi antara 1,5 M sampai dengan 3,5 M sebanyak 450 mL dan variasi waktu hidrolisis antara 20 menit sampai dengan 40 menit. Campuran dimasukkan ke dalam *microwave*. *Microwave* yang digunakan merupakan *microwave* rumah tangga (Electrolux-EMM2308X) dengan dilengkapi kondensor refluks yang terhubung dengan air pendingin. Proses hidrolisis dilakukan dengan bantuan daya *microwave* 600 W 50 Hz.

Tahap Pemisahan

Setelah proses hidrolisis selesai, hasil hidrolisat disaring dengan kertas saring untuk memisahkan antara hasil ekstrak dengan ampas tebu. Hasil ekstrak dimasukkan ke dalam corong pisah dan ditambahkan 50 mL kloroform. Kemudian kocok selama beberapa menit dan diamkan hingga terbentuk dua lapisan cairan. Lapisan bawah diambil untuk dianalisa secara kualitatif dan kuantitatif.

Tahap Analisis

a. Analisa Kualitatif dengan Penambahan Anilin Asetat

Analisa kualitatif dilakukan dengan cara memasukkan ± 1 mL larutan hasil penyaringan ke dalam tabung reaksi dan menambahkan 3 tetes larutan anilin asetat (1:1) volume. Kemudian perubahan warna menjadi kemerah-merahan mengidentifikasi adanya senyawa furfural.

b. Analisa Kuantitatif

Konsentrasi furfural dianalisa dengan menggunakan GC-FID. Analisa GC-FID dilakukan di Laboratorium Instrument Jurusan Teknik Kimia Politeknik Negeri Samarinda. Larutan furfural standar (pro analysys E Merck) digunakan sebagai pembanding untuk akurasi analisa. Data yang didapatkan dari GC-FID berupa waktu retensi dan luas area sampel. Data luas area furfural kemudian diolah sehingga menghasilkan data konsentrasi furfural dan yield furfural.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Percobaan pengaruh konsentrasi asam sulfat terhadap hasil furfural dilakukan dengan memvariasikan konsentrasi asam sulfat sebesar 1,5 M; 2,0 M; 2,5 M; 3,0 M; dan 3,5 M. Variabel lainnya dibuat tetap yaitu massa ampas tebu 15 gram, waktu hidrolisis 30 menit, volume asam sulfat 450 mL dan daya *microwave* 600 watt 50 Hz. Sedangkan untuk mengetahui pengaruh waktu hidrolisis terhadap hasil furfural dilakukan dengan memvariasikan waktu hidrolisis 20 menit, 25 menit, 30 menit, 35 menit, dan 40 menit. Variabel lainnya dibuat tetap yaitu massa ampas tebu 15 gram, konsentrasi asam sulfat 2,25 M, volume asam sulfat 450 mL dan daya *microwave* 600 watt 50 Hz.

Proses hidrolisis pentosan menggunakan asam sulfat karena asam sulfat berfungsi sebagai katalisator yang membantu kerja air dalam proses hidrolisis. Selain itu asam sulfat memiliki harga yang terjangkau dan mudah didapatkan.

Perbandingan rasio padatan dan larutan juga mempengaruhi hasil furfural yang diperoleh. Hal ini dikarenakan jika volume larutan semakin besar maka hasil furfural yang diperoleh semakin besar (Groggins, 1958). Pada penelitian ini menggunakan massa ampas tebu sebesar 15 gram dan larutan H_2SO_4 sebanyak 450 mL dengan rasio padatan dan larutan adalah 1:30.

Hidrolisis ampas tebu dilakukan dengan menggunakan bantuan gelombang mikro. Menurut Taylor (2005) gelombang mikro mampu mempercepat proses sintesis furfural dari ampas tebu. Hal ini dikarenakan gelombang mikro memberikan pemanasan yang lebih merata sehingga diharapkan mampu mempersingkat waktu hidrolisis.

Hasil hidrolisat disaring untuk memisahkan antara hasil ekstrak dengan ampas tebu. Hasil ekstrak kemudian dicuci dengan kloroform untuk memisahkan antara furfural dengan asam sulfat dan air. Kloroform digunakan sebagai pelarut karena mudah didapatkan dan sifatnya yang tidak larut dalam air, tetapi merupakan pelarut yang efektif untuk senyawa organik (furfural).

Dari hasil uji kualitatif furfural, terjadi perubahan warna pada sampel yaitu dari kuning menjadi merah. Perubahan warna yang terjadi mengidentifikasi keberadaan furfural pada sampel. Menurut Hidajati (2006), perubahan warna dari kuning menjadi merah dengan penambahan pereaksi anilin asetat disebabkan karena terjadi kondensasi antara furfural dengan anilin membentuk senyawa dianil hidroksiglukoat dialdehida.

Tabel 3.1 Hasil Analisa Furfural

Konsentrasi H ₂ SO ₄ (M)	Waktu Hidrolisis (Menit)	Volume Campuran Furfural dan Kloroform (mL)	Analisa Kualitatif	Analisa Kuantitatif	
			Perubahan Warna	Konsentrasi Furfural dengan GC-FID (g/mL)	Yield (%)
Pengaruh konsentrasi asam sulfat terhadap hasil furfural					
1,5	30	47,5	Kuning menjadi merah	Tidak terukur	Tidak terukur
2		45,5	Kuning menjadi merah	Tidak terukur	Tidak terukur
2,5		47,5	Kuning menjadi merah	Tidak terukur	Tidak terukur
3		44,5	Kuning menjadi merah	Tidak terukur	Tidak terukur
3,5		44,0	Kuning menjadi merah	Tidak terukur	Tidak terukur
Pengaruh waktu hidrolisis terhadap hasil furfural					
2,25	20	42	Kuning menjadi merah	Tidak terukur	Tidak terukur
	25	46	Kuning menjadi merah	Tidak terukur	Tidak terukur
	30	45	Kuning menjadi merah	Tidak terukur	Tidak terukur
	35	46	Kuning menjadi merah	Tidak terukur	Tidak terukur
	40	46	Kuning menjadi merah	Tidak terukur	Tidak terukur

Berdasarkan hasil analisa kuantitatif dengan menggunakan GC-FID, furfural dalam sampel ekstrak hidrolisat tidak terukur oleh *Limit of Detection* (LoD) GC-FID. *Limit of Detection* (LoD) adalah jumlah terkecil analit dalam sampel yang dapat dideteksi oleh suatu alat. Hal ini dapat diketahui dari hasil pengujian GC-FID larutan menggunakan sampel standar furfural didapatkan waktu retensi pada 3,70 menit, sedangkan pada sampel ekstrak hidrolisat tidak ditemukan waktu retensi yang sama dengan standar furfural. Konsentrasi furfural yang terkandung dalam sampel ekstrak hidrolisat terlalu kecil yang menyebabkan furfural dalam sampel ekstrak hidrolisat tidak terukur oleh GC-FID. Hal ini dapat disebabkan waktu hidrolisis, konsentrasi asam sulfat, ukuran partikel bahan baku dan daya *microwave* yang rendah dalam proses hidrolisis sehingga berpengaruh terhadap pembentukan furfural, dimana konsentrasi furfural yang diperoleh akan terlalu kecil.

Waktu hidrolisis yang rendah menyebabkan pentosan dalam ampas tebu yang berkontak dengan asam sulfat menjadi lebih singkat sehingga reaksi berjalan secara tidak menyeluruh. Selain itu, radiasi gelombang mikro yang diserap oleh pentosan akan sangat sedikit karena waktu hidrolisis yang singkat sehingga hasil furfural yang diperoleh sangat kecil. Maka perlu dilakukan penambahan variasi waktu yang lebih banyak dengan meningkatkan waktu hidrolisis agar diperoleh hasil furfural yang optimum.

Konsentrasi katalisator asam sulfat dalam proses hidrolisis berpengaruh terhadap hasil furfural yang diperoleh. Konsentrasi asam sulfat yang digunakan pada penelitian ini tidak dapat memutuskan ikatan polimer pentosan dalam ampas tebu menjadi monomer-monomer pentosa secara sempurna, sehingga diperoleh hasil furfural yang sangat kecil. Maka perlu dilakukan penambahan konsentrasi H₂SO₄ agar pemutusan ikatan polimer pentosan dalam ampas tebu berlangsung lebih sempurna dengan bertambahnya jumlah pereaksi yang teraktifkan sehingga konstanta kecepatan reaksi menjadi besar dan kecepatan reaksi bertambah cepat pula. Semakin besarnya konsentrasi katalisator yang digunakan maka hasil furfural akan semakin besar.

Ukuran partikel dari ampas tebu berpengaruh terhadap hasil furfural yang diperoleh. Rentang perbedaan ukuran antara screening -20 dan +70 mesh yang cukup besar membuat ukuran partikel ampas tebu masih heterogen. Hal ini menyebabkan saat proses hidrolisis berlangsung, konversi pentosan menjadi pentosa hanya terjadi pada partikel ampas tebu yang kecil. Sedangkan untuk ampas tebu yang lebih besar, konversi dari pentosan menjadi pentosa masih belum terjadi.

Daya *microwave* yang digunakan dalam proses hidrolisis juga berpengaruh terhadap hasil furfural yang diperoleh. Daya *microwave* yang rendah akan menyebabkan interaksi antara gelombang mikro dan pentosan dalam ampas tebu semakin kecil. Menurut Taylor (2015), bahan yang mengandung molekul polar saat terekspos di medan magnet yang berisolasi pada frekuensi tertentu, molekul polar berusaha untuk mengikuti orientasi medan dan memposisikan dirinya searah dengan medan. Akhirnya gerakan acak dari molekul-molekul dan interaksi acak ini yang membangkitkan panas. Maka perlu dilakukan penambahan daya *microwave* agar resonansi gelombang semakin besar yang menyebabkan getaran yang dihasilkan juga akan semakin besar sehingga mempercepat gerakan dan interaksi acak dari partikel molekul dan panas akan cepat terbentuk.

Sampel ekstrak hidrolisat kemudian dianalisis kembali menggunakan *Gas Chromatography - Mass Spectrometry* (GC-MS). Analisis GC-MS dilakukan untuk memperkuat analisa kualitatif yang menunjukkan adanya furfural dalam sampel. Dari hasil pembacaan kromatografi gas pada ekstrak hidrolisat terdapat suatu senyawa pada *peak* 4 dengan waktu retensi 9,110 menit dan % area sebesar 0,15%. Berdasarkan pembacaan spektrometri massa, senyawa tersebut memiliki massa molekul relatif sebesar 95. Massa molekul relatif ini mendekati massa molekul relatif furfural yaitu sebesar 96. Pola fragmentasi senyawa yang diperoleh memiliki kemiripan dengan furfural dalam data *library* GC-MS Lab Kimia Organik FMIPA UGM. Dengan demikian, senyawa dengan waktu retensi 9,110 menit yang terdeteksi oleh GC-MS merupakan furfural.

SIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa pengaruh konsentrasi asam sulfat dan waktu hidrolisis pada pembuatan furfural dari ampas tebu menggunakan *microwave* berdaya 600 watt dengan katalisator asam sulfat (H_2SO_4) 1,5 M sampai dengan 3,5 M dan waktu hidrolisis 20 menit sampai dengan 40 menit tidak berpengaruh terhadap hasil furfural yang diperoleh. Hal ini dapat dikarenakan penggunaan waktu hidrolisis, konsentrasi asam sulfat, ukuran partikel ampas tebu dan daya *microwave* yang rendah dalam proses hidrolisis menyebabkan konsentrasi furfural tidak terukur dalam analisa kuantitatif menggunakan GC-FID, maka perlu meningkatkan waktu hidrolisis, konsentrasi asam sulfat, keseragaman ukuran partikel ampas tebu dan daya *microwave* yang digunakan.

DAFTAR PUSTAKA

- Adhiksana, A., Rahim, M., & Indriani, M. (2019). Optimasion of Rice Husk Hydrolysis Time Into Furfural Assisted by Microwave. *Konversi*, 8(2), 88–91.
- Andaka, G. (2011). Hidrolisis Ampas Tebu Menjadi Furfural dengan Katalisator Asam Sulfat. *Jurnal Teknologi*, 4(2), 180–188.
- Anwar, M. I. F. (2021). *Optimasi Waktu Hidrolisis pada Pembuatan Furfural dari Ampas Tebu Menggunakan Katalisator Asam Sulfat Berbantuan Gelombang Mikro*. Politeknik Negeri Samarinda.
- Dunlop, A. P. (1948). Furfural Formation and Behavior. *Industrial & Engineering Chemistry*, 40(2), 204–209.
- Eka, V., Surabaya, U. N., & Ketintang, J. (2013). Pemanfaatan Limbah Padat Proses Sintesis Furfural dengan Material Awal Ampas Tebu sebagai Bahan Pembuatan Bahan Bakar Briket. *UNESA Journal of Chemistry*, 2(3), 212–220.
- Griffin, R. C. (1921). Technical Methods of Analysis. *Journal of the Society of Chemical Industry*, 40(24), 491–494.
- Groggins, Philip Herkimer. (1958). Unit Processes in Organic Synthesis. *Journal of the American Chemical Society*, 81(6), 775–777.
- Hidajati, N. (2007). The Treatment of the Corn-Knob as A Raw Material for Making Furfural. *Jurnal Ilmu Dasar*, 8(1), 45–53.

- Rahim, M., & Nadir, M. (2015). Optimasi Waktu Hidrolisis Tandan Kosong Kelapa Sawit menjadi Furfural Berbantuan Gelombang Mikro. *Konversi*, 4(2), 41–44.
- Sweygers, N., Dewil, R., & Appels, L. (2018). Production of Levulinic Acid and Furfural by Microwave-Assisted Hydrolysis from Model Compounds: Effect of Temperature, Acid Concentration and Reaction Time. *Waste and Biomass Valorization*, 9(3), 343–355.
- Zeitsch, K. J. (2000). *The chemistry and technology of furfural and its many by-products*: Elsevier.