

**PENGEMBANGAN METODE SINTESIS FURFURAL BERBAHAN DASAR
CAMPURAN LIMBAH PERTANIAN DALAM RANGKA MEWUJUDKAN
PRINSIP GREEN CHEMISTRY**

*(Development Of Synthesis Method Of Furfural From Compost Heap Mixture To
Reach Out Green Chemistry Principles)*

Mitarlis, Ismono, Tukiran

Department of Chemistry, Faculty of Mathematics and Sciences, State University of Surabaya.

Jl. Ketintang Surabaya East Java Indonesia-60231. Fax (031)8296427

E-mail: mita_wisnu@yahoo.co.id

Diterima: 6 September 2011

Disetujui: 1 November 2011

Abstrak

Penelitian pengembangan metode sintesis furfural dengan bahan dasar campuran limbah pertanian dilakukan dengan tujuan untuk menentukan waktu pemanasan dan konsentrasi asam optimum serta mewujudkan prinsip *green chemistry*. Dalam penelitian ini digunakan campuran limbah pertanian ampas tebu, limbah daun nanas dan limbah tanaman jagung dengan perbandingan 1:1:1. Proses sintesis melalui tahap hidrolisis pentosan, dehidrasi, dan siklodehidrasi untuk membentuk furfural dengan menggunakan alat *refluks* termodifikasi. Identifikasi furfural menggunakan uji warna dengan anilin asetat, uji indeks bias, spektrofotometer UV-Vis, dan IR, serta GC. Analisis pemenuhan prinsip *green chemistry* menggunakan daftar cek 12 prinsip *green chemistry*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa: Waktu pemanasan dan konsentrasi asam sulfat optimum pada pembuatan furfural dari campuran limbah pertanian adalah 5 jam dan konsentrasi asam sulfat 10% (1,876 M) dengan rendemen sebesar 5,58%. Metode sintesis furfural yang dikembangkan dapat memenuhi 11 dari 12 prinsip *green chemistry* yang telah ditetapkan.

Kata kunci: furfural, limbah pertanian, asam sulfat, *green chemistry*

Abstract

The study of developing furfural synthesis method from compost heap mixture had been done to determine optimum condition for this process and to reach out the green chemistry principles. In this research, the compost heap mixture is from three kinds of compost heap (bagasse, pineapple leaf, waste of corn plant) with same amount (1:1:1). The steps of furfural production process are hydrolysis of pentose by sulfuric acid, dehydration, and cyclodehydration to form furfural. It was produced by using a modification reflux apparatus. Identify of furfural product by using qualitative analysis color test with aniline acetate, refractive index test, UV-Vis, IR spectrophotometer, and GC. Green chemistry principles are analyzed by using check list of 12 principles of green chemistry. Based on this research was obtained that the optimum concentration of sulfuric acid is 10% (1,876M) with 5 hours heating process and 5,58% yield. Furfural synthesis methods had been developed in this study and reach out only 11 of the 12 principles of green chemistry set.

Keywords: furfural, compost heap, sulfuric acid, green chemistry.

PENDAHULUAN

Sebagai negara yang beriklim tropis Indonesia terkenal dengan keanekaragaman sumber alamnya. Agroindustri di Indonesia

merupakan sektor yang memiliki peran sangat penting dalam perindustrian nasional. Selama ini kegiatan pasca panen dan pengolahan hasil pertanian, termasuk pemanfaatan produk samping dan sisa pengolahannya masih kurang

maksimal. Berbagai jenis limbah pertanian dan industri pertanian hanya dimanfaatkan untuk bahan bakar dan pakan ternak yang terbatas dengan nilai ekonomi relatif rendah.

Dibutuhkan teknologi baru untuk mendiversifikasi pemanfaatan bahan-bahan limbah tersebut di atas menjadi produk bernilai tinggi. Salah satu alternatifnya yaitu diolah menjadi bahan baku kimia, antara lain furfural. Bahan-bahan tersebut dapat diolah menjadi furfural karena memiliki kandungan pentosan yang merupakan komponen utama dalam proses pembuatan furfural. Bahan baku lain yang dapat digunakan dalam produksi furfural antara lain: tongkol jagung, sekam padi, kayu, rami dan sumber lain yang mengandung pentosan (Othmer, 1980).

Furfural banyak digunakan sebagai pelarut dalam industri pengolahan minyak bumi dan pembuatan pelumas pada pembuatan nilon. Selain itu furfural juga berfungsi sebagai senyawa intermediate untuk pembuatan furfural alkohol, tetrahidrofuran, industri farmasi herbisida, dan aplikasi pada pewangi (Othmer, 1980). Furfural juga digunakan untuk mensintesis asam- β -(2-furil) akrilat yang merupakan senyawa intermediet bahan alternatif tabir matahari (Mitarlis, dkk., 2002). Dalam bidang analisis sebagai pereaksi untuk estimasi asam empedu (Gorecka D., 2002).

Kebutuhan furfural dunia saat ini mencapai 200ribu - 250ribu ton. Sementara di Indonesia, permintaan furfural diprediksikan akan terus meningkat sampai tahun 2010. Menurut prediksi Depperindag kebutuhan furfural di dalam negeri mencapai 600 ribu ton pada tahun 2010, namun belum ada produsen furfural di dalam negeri, menyebabkan Indonesia selama ini memenuhi kebutuhan furfural dari luar negeri. Impor terbesar diperoleh dari Cina yang saat ini menguasai 72% pasar furfural dunia (Wijanarko dkk, 2006).

Pengembangan metode sintesis furfural dari campuran limbah pertanian di Indonesia diharapkan dapat memenuhi kebutuhan furfural dalam negeri sehingga mengurangi angka impor dan meningkatkan nilai investasi di Indonesia. Sampai saat ini telah berhasil di buat furfural dari kulit kacang tanah, tandan kosong kelapa sawit, pohon pisang biji, grajen kayu dan ampas tebu. Dari penelitian-penelitian tersebut rata-rata rendemen furfural yang didapatkan sekitar 26%-63,8% dari pentosan yang terhidriolisis.

Dari beberapa penelitian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa berbagai sumber alam di Indonesia, bahkan merupakan limbah pertanian dan industri pertanian yang *renewable* menunjukkan potensi yang besar untuk bisa dijadikan bahan dasar pembuatan bahan baku kimia khususnya furfural. Penelitian pengembangan metode pembuatan furfural dengan berbagai jenis bahan alam telah dilakukan dan menunjukkan rendemen yang berbeda-beda sesuai dengan karakteristik dan komposisi senyawa utama yaitu pentosan yang terkandung dalam bahan dasar tersebut. Dalam penelitian ini akan dijawab beberapa permasalahan antara lain: 1) Berapakah waktu pemanasan dan konsentrasi asam sulfat optimum yang digunakan dalam sintesis furfural dari bahan dasar campuran limbah pertanian? 2) Seberapa jauh metode sintesis furfural dapat memenuhi prinsip green chemistry?

METODE PENELITIAN

Penelitian ini bersifat eksperimen semu dan berskala laboratorium. Penelitian ini bertujuan untuk mencari waktu pemanasan dan konsentrasi asam sulfat yang optimum yang dapat digunakan untuk membuat furfural dari campuran limbah pertanian. Di samping itu juga ingin mengetahui pemenuhan prinsip green chemistry dari metode sintesis furfural yang dilakukan.

Alat

Dalam penelitian ini digunakan rangkaian peralatan yang mewakili fungsi refluks dan destilasi sehingga penelitian lebih efektif dan furfural yang dihasilkan langsung terpisah. Alat-alat yang digunakan terdiri dari penangas udara, labu *trineck*, labu destilasi, pendingin leibig, pendingin udara, corong kaca, pipa U, pipa plastik, dan corong pisah.

Dalam analisis kualitatif digunakan beberapa alat yang menunjang identifikasi terdapatnya senyawa furfural. Untuk mengetahui indeks bias senyawa furfural hasil sintesis digunakan Refraktometer Abbe 2T (Main Unit) ATAGO, untuk mengetahui gugus fungsi digunakan spektrofotometer FT/IR-5300 dan untuk mengetahui panjang gelombang maksimum digunakan spektrofotometer UV-1700 SHIMADZU. Pada pengujian warna furfural hasil sintesis tidak

menggunakan instrumen tertentu, tetapi hanya menggunakan pereaksi anilin-asetat (1:1).

Bahan

Bahan dasar yang digunakan adalah serbuk campuran limbah pertanian yang terdiri dari serbuk ampas tebu, serbuk daun nanas dan serbuk tanaman jagung dengan perbandingan 1:1:1, yaitu digunakan 40 g serbuk ampas tebu, 40 g serbuk daun nanas dan 40 g serbuk tanaman jagung. Bahan-bahan kimia lain yang digunakan untuk reaksi diantaranya: Asam Sulfat 98% (18,35 M), Natrium klorida, Kloroform, Anilin, Asam asetat, Aquades, dan Natrium sulfat anhidrat.

Prosedur Penelitian

Penelitian ini terdiri atas beberapa tahap, yaitu pengukuran kadar air, proses pembuatan furfural dan identifikasi furfural.

Prosedur pembuatan furfural dilakukan sebagai berikut:

1) Serbuk kering campuran limbah pertanian sebanyak 120 gram (40 gr serbuk kering ampas tebu, 40 gr serbuk daun nanas dan 40 gr serbuk tanaman jagung) ke dalam labu trineck, kemudian ditambah 125 gram natrium klorida dan 1 liter asam sulfat dengan konsentrasi 6%, 8%, 10% dan 12%. Yaitu 1,1256 M, 1,5008 M, 1,8760 M, dan 2,2512 M. Campuran diaduk dengan spatula hingga terbentuk campuran yang homogen, 100 ml kloroform dimasukkan ke dalam labu destilasi yang dihubungkan dengan alat refluks termodifikasi; 2) Furfural yang terbentuk bersama air dan terkondensasi di dalam pendingin udara, kemudian menetes melalui corong yang ujungnya tercelup ke dalam kloroform di dalam labu destilasi; 3) Furfural akan larut dalam kloroform sedangkan airnya akan memisah membentuk dua lapisan (lapisan kloroform di bagian bawah dan lapisan air bagian atas). Lapisan air akan kembali ke dalam labu trineck melalui pipa samping labu destilasi dan demikian seterusnya sehingga

terjadi sirkulasi air; 4) Lapisan air dan kloroform yang terdapat dalam labu destilasi dengan diekstraksi menggunakan corong pisah. Lapisan kloroform furfural ditampung dan ditambahkan Na_2SO_4 anhidrat sebanyak 0,1 - 0,5 gram untuk mengikat sisa air. Campuran kloroform- Na_2SO_4 anhidrat dipisahkan dengan cara penyaringan. Pemisahan furfural dari kloroform dengan cara destilasi sederhana, destilat kloroform akan menetes pada suhu sekitar $56^\circ\text{C} - 67^\circ\text{C}$, sedangkan residunya berupa furfural dan dimurnikan dengan destilasi mikro vakum

Identifikasi furfural dilakukan dengan beberapa uji kualitatif terhadap sifat fisika, sifat kimia, dengan uji warna anilin asetat (1:1); penentuan indeks bias, dan uji dengan spektrofotometer UV-Vis; IR dan Spektrometer GC/MS. Pemenuhan prinsip *green chemistry* ditentukan menggunakan daftar check berdasarkan 12 prinsip *green chemistry* yang telah ditetapkan (Anastas dan Warner 1998).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sebelum digunakan sebagai bahan dasar pembuatan furfural, masing-masing limbah pertanian ditentukan kadar airnya, sehingga tidak mempengaruhi untuk perhitungan persen hasilnya. Kadar air rata-rata dari beberapa macam sampel limbah pertanian disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Rata-rata Kadar air beberapa limbah pertanian

ampel limbah pertanian	Rata-rata kadar air (%)
Ampas tebu	2,32
Limbah tanaman jagung	5,13
Limbah daun nanas	6,63



Gambar 1. (a) limbah tanaman jagung: batang daun dan kulit buah, (b) limbah daun nanas pasca panen

Dari data pada Tabel 1 dapat diketahui bahwa rata-rata kadar air dari serbuk sampel ampas tebu cukup besar 2,32%, serbuk sampel tanaman jagung 5,13%; dan serbuk sampel daun nanas 6,63%.

Sampel ampas tebu dengan kadar air paling rendah karena ampas tebu tersimpan cukup lama sebagai limbah di pabrik gula Candi Sidoarjo, sedangkan sampel limbah tanaman jagung hanya dua bulan dari masa panen; apalagi limbah daun nanas sampel diambil seger setelah pemanenan dari daun yang masih segar.

Pembuatan Furfural dari Campuran Limbah Pertanian

Furfural dari campuran limbah pertanian dibuat dengan mencampurkan tiga jenis sampel yaitu sampel ampas tebu, sampel daun nanas, dan sampel tanaman jagung dengan berat masing-masing 40g ke dalam labu trineck. 125g garam NaCl ditambahkan dalam campuran sampel tersebut serta satu liter H_2SO_4 yang telah diencerkan dari asam sulfat pekat 18,00 M menjadi asam sulfat 1,13 M, 1,50 M, 1,88 M, dan 2,25 M, kemudian semua bahan dalam labu trineck diaduk hingga tercampur rata. Penambahan NaCl bertujuan untuk meningkatkan titik didih campuran.

Pada bagian labu destilasi diisi 100 ml kloroform hingga ujung corong di dalamnya tercelup kloroform yang berfungsi sebagai pengikat furfural. Pemanasan dilakukan dengan waktu bervariasi dari 3 jam, 4jam, dan 5 jam dengan suhu konstan $106^{\circ}C$.

Furfural hasil hidrolisis akan menguap bersama air membentuk azeotrop pada tekanan 1 atm pada suhu $97,85^{\circ}C$, sehingga meskipun belum mencapai titik didih furfural ($161,7^{\circ}C$), furfural dapat menguap. Uap furfural dan air mengalir melalui pendingin udara yang

kemudian terkondensasi dalam pendingin leibig. Furfural dan air kemudian menetes dan mengalir ke dalam labu destilasi yang berisi kloroform melalui adaptor dan corong yang ujungnya tercelup ke dalam kloroform. Furfural akan larut ke dalam kloroform sedangkan air tidak sehingga air membentuk lapisan di atas kloroform. Hal ini disebabkan berat jenis kloroform lebih besar dari berat jenis air yaitu sebesar 1,489g/mL. Kloroform yang semula berwarna jernih menjadi agak kekuningan yang menunjukkan adanya furfural dari kloroform. Sebagian lapisan air yang terbentuk akan mengalir kembali ke dalam labu trineck melalui pipa samping labu destilasi.

Setelah pemanasan dihentikan, kloroform dan air yang terdapat di dalam labu destilasi dipindahkan ke corong pisah untuk memisahkan lapisan air dari lapisan kloroform. Sisa-sisa air yang masih terdapat dalam kloroform setelah pemisahan dengan corong pisah, diikat dengan penambahan Na_2SO_4 anhidrat sehingga terbentuk Na_2SO_4 hidrat yang kemudian disaring dari kloroform dengan kertas saring.

Kloroform kemudian dipisahkan dari furfural dengan destilasi sederhana. Pemisah ini didasarkan pada titik didih kloroform yang lebih rendah dari furfural yaitu $61^{\circ}C$ sedangkan furfural $161,7^{\circ}C$ sehingga pada proses tersebut kloroform akan menguap terlebih dahulu dan terkondensasi dan tertampung pada penampung. Furfural akan tetap tertinggal dalam labu destilasi berwarna kuning jernih. Warna furfural akan berubah menjadi kecoklatan karena kontak dengan udara. Furfural merupakan cairan tak berwarna dan akan menjadi keuningan sampai coklat bila kontak dengan udara.

Sintesis furfural dilakukan pada setiap variabel dengan pengulangan sebanyak tiga kali. Data hasil residu furfural yang diperoleh dari destilasi sederhana disajikan pada Tabel 2.

Untuk mendapatkan furfural yang berwarna jernih, dilakukan destilasi mikrovakum. Pada proses ini, furfural dipanaskan dan menguap pada suhu 67° - 80° C.

Analisis Furfural

Furfural yang diperoleh kemudian dianalisis untuk mengidentifikasi secara kualitatif yaitu uji warna dengan anilin asetat, penentuan indeks bias dengan refraktometer, penentuan panjang gelombang maksimum dengan spektrofotometer UV-Vis, penentuan gugus fungsi dengan spektrofotometer infra merah dan penentuan komponen furfural hasil destilasi mikro vakum dengan GC-MS. Selanjutnya furfural yang diperoleh dianalisis secara kuantitatif dengan penentuan rendemen furfural.

Uji Warna dengan pereaksi anilin asetat.

Uji warna merupakan uji sifat kimia dari furfural. Pereaksi yang digunakan adalah anilin-asetat yang digunakan untuk mendeteksi adanya furfural. Anilin asetat dibuat dengan

mencampurkan anilin dengan asam asetat dengan perbandingan 1:1. Setiap hasil variabel rendemen furfural di uji warna dengan menambahkan anilin asetat pada jumlah yang sama dengan jumlah furfural yang digunakan. Secara teoritis, penambahan furfural dengan anilin asetat menyebabkan furfural berwarna merah tua. Berikut adalah hasil uji warna furfural hasil sintesis.

Berdasarkan hasil pengamatan uji warna furfural dari campuran limbah pertanian menunjukkan bahwa warna yang dihasilkan pada uji tersebut sama dengan warna uji furfural secara teoritis yaitu furfural yang semula berwarna kuning jernih setelah penambahan aniline-asetat menjadi berwarna merah tua, hal ini menunjukkan rendemen yang diuji merupakan furfural.

Warna merah tua disebabkan oleh reaksi kondensasi antara furfural dengan aniline membentuk senyawa dianil hidroksiglutakonat dialdehid. Senyawa inilah yang membentuk warna merah dalam reaksi tersebut. Berikut adalah mekanisme reaksi aniline-asetat terhadap furfural.

Tabel 2. Data berat rata-rata residu furfural setelah destilasi sederhana

Konsentrasi asam sulfat waktu pemanasan	6%	8%	10%	12%
3 jam	4,403g(3,69%)	4,421g(3,68%)	5,242g(43,68%)	6,008g(5,01%)
4 jam	4,314g(2,76%)	5,256g(4,38%)	5,701g(4,75%)	6,298g(5,24%)
5 jam	5,927g(4,93%)	6,407g(5,34%)	6,699 g(5,58%)	6,556g(5,46%)

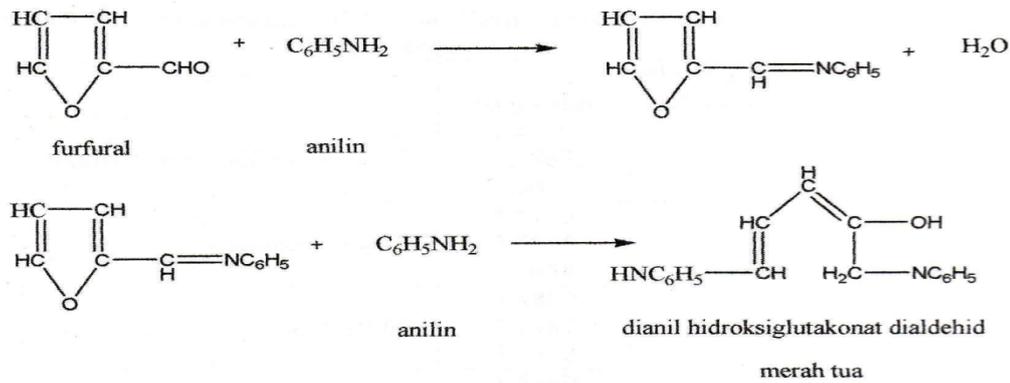


(a)



(b)

Gambar 2. (a) furfural sebelum ditetesi anilin-asetat, (b) furfural setelah ditetesi anilin-asetat



Gambar 3. Reaksi anilin-asetat dengan furfural pada uji warna furfural

Tabel 3. Data pengamatan indeks bias furfural menggunakan Refraktometer Abbe

	Furfural	Indek bias	Rata-rata indeks bias
Waktu 3 jam	Konsentrasi 6%	1,50864	1,5111375
	Konsentrasi 8%	1,50862	
	Konsentrasi 10%	1,51884	
	Konsentrasi 12%	1,50845	
Waktu 4 jam	Konsentrasi 6%	1,51875	1,51881
	Konsentrasi 8%	1,51878	
	Konsentrasi 10%	1,51886	
	Konsentrasi 12%	1,51885	
Waktu 5 jam	Konsentrasi 6%	1,51878	1,518795
	Konsentrasi 8%	1,51871	
	Konsentrasi 10%	1,51885	
	Konsentrasi 12%	1,51884	
	Furfural teoritis		1,2355

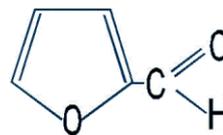
Uji Indeks Bias

Uji indeks bias merupakan uji sifat fisika furfural. Indeks bias furfural ditentukan dengan alat refraktometer Abbe. Uji indeks bias dilakukan pada setiap variabel rendemen furfural. Secara teoritis, indeks bias furfural adalah 1,5261 ($20^{\circ}C$) dan 1,5235 ($25^{\circ}C$) (Othmer, 1980). Data hasil uji indeks bias furfural menggunakan Refraktometer Abbe disajikan pada Tabel 3.

Data pengamatan tersebut diambil pada temperatur $27,9^{\circ}C$. Data tersebut menunjukkan bahwa indeks bias yang dihasilkan dari rendemen yang diuji hampir mendekati harga indeks bias furfural secara teoritis. Furfural yang telah didestilasi mikrovakum memiliki indeks bias sebesar 1,518903 pada temperatur $26,9^{\circ}C$.

Penentuan Panjang Gelombang Maksimum

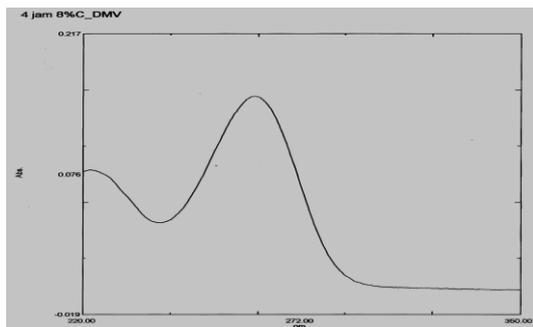
Berdasarkan perhitungan rumus struktur furfural, serapan panjang gelombang maksimum (λ_{maks}) furfural seperti pada gambar 4.



Gambar 4. Struktur Furfural

Perhitungan panjang gelombang maksimum furfural secara teoritis:

$$\begin{aligned}
 \text{Aldehida } \alpha, \beta\text{-tak jenuh} &= 207 \text{ nm} & 1 \\
 \text{ikatan C=C tambahan} &= 30 \text{ nm} \\
 \text{Komponen homodiena} &= 39 \text{ nm} \\
 \hline
 \lambda_{maks} \text{ hitungan} &= 276 \text{ nm}
 \end{aligned}$$

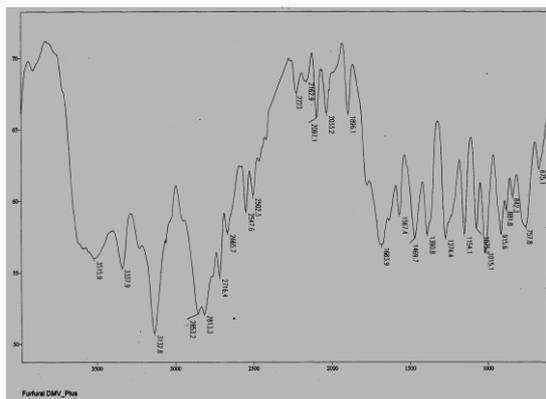


Gambar 5. Gambar spektrum panjang gelombang maksimum furfural murni destilasi mikro vakum

Pengukuran panjang gelombang maksimum dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis dilakukan pada rendemen furfural untuk setiap variabel perlakuan. Berikut adalah hasil pengukuran λ_{maks} menggunakan spektrofotometer UV-Vis 1700 SHIMADZU. Spektrum panjang gelombang maksimum furfural murni seperti gambar 5.

Penentuan Gugus Fungsi Furfural menggunakan Spektrofotometer Infra Merah

Identifikasi ini dilakukan dengan alat Spektrofotometer IR BUCK M500. Spektrum IR furfural hasil sintesis setelah dimurnikan dengan destilasi mikro vakum disajikan pada gambar 6.



Gambar 6. Spektrum serapan gugus fungsi furfural. murni hasil destilasi mikro vakum.

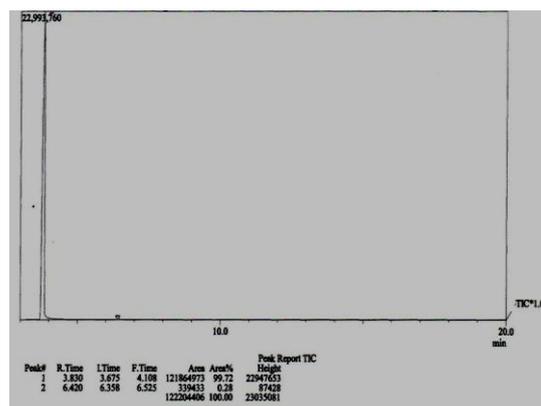
Gambar spektra IR furfural campuran limbah pertanian yang dihasilkan menunjukkan adanya gugus- gugus penyusun furfural yaitu adanya gugus aromatis, eter dan aldehid.

Gugus-gugus tersebut ditunjukkan oleh adanya serapan berikut: stretching C-H aromatis pada $3132,8 \text{ cm}^{-1}$; C-H aldehid pada 2855 cm^{-1} ; C=O pada $1683,9 \text{ cm}^{-1}$; C=C pada $1567,4 \text{ cm}^{-1}$;

C-O-C pada $1154,1 \text{ cm}^{-1}$; dan bending C-H aldehid pada $1390,8 \text{ cm}^{-1}$.

Analisis Furfural Hasil Destilasi Mikro Vakum dengan Spektrofotometer GC/MS.

Untuk menentukan komponen penyusun furfural hasil sintesis dari campuran limbah pertanian, furfural yang telah disintesis sebelumnya diberi perlakuan pemurnian berulang kali, sehingga dihasilkan senyawa yang benar-benar murni dan tidak berwarna. Selanjutnya untuk identifikasi furfural yang telah dimurnikan tersebut dilakukan dengan alat GC-MS di laboratorium instrument kimia Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.



Gambar 6. Hasil GC furfural hasil sintesis setelah destilasi vakum

Hasil uji kromatografi gas (GC) menunjukkan adanya dua puncak. Satu puncak tajam dan puncak yang sangat rendah. Puncak pertama yang tajam memiliki waktu retensi 3,830 dengan persen area 99,72% (furfural) sedang puncak kedua memiliki waktu retensi 6,420 dengan persen area 0,28% (metil furfural). Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa hasil sintesis dengan bahan dasar campuran limbah pertanian adalah furfural.

Pemenuhan prinsip green chemistry digunakan daftar check berdasarkan 12 prinsip *green chemistry*. (Anastas, 1998). Pengembangan metode sintesis furfural yang telah dikembangkan didapatkan waktu pemanasan optimum 5 jam dengan konsentrasi asam sulfat 10%. Hal ini berarti dapat menghemat bahan asam sulfat yang lebih encer bila digunakan konsentrasi 12%. Hasil analisis pemenuhan prinsip *green chemistry* dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Daftar *Ceck List* Pemenuhan Prinsip *Green Chemistry* Pada Metode sintesis Furfural dengan Bahan Dasar Campuran Limbah Pertanian

No.	Prinsip <i>Green Chemistry</i>	Pengembangan Metode Sintesis Furfural
1.	Menghindari penghasilan sampah	√
2.	Desain bahan kimia dan produk yang aman	√
3.	Desain sintesis kimia yang tak berbahaya	√
4.	Penggunaan sumber daya yang dapat diperbaharui (renewable)	√
5.	Penggunaan katalis	√
6.	Menghindari bahan kimia yang sifatnya derivatif (chemical derivatives)	√
7.	Desain sintesis dengan hasil akhir (produk) yang mengandung proporsi maksimum bahan mentah	
8.	Penggunaan pelarut dan kondisi reaksi yang aman	√
9.	Peningkatan efisiensi energy	√
10.	Desain bahan kimia dan produk yang dapat terurai	√
11.	Pencegahan polusi	√
12.	Peminimalan potensi kecelakaan kerja	√

Berdasarkan Tabel 4 ternyata metode sintesis yang dikembangkan dapat memenuhi 11 dari 12 prinsip green chemistry. Salah satu prinsip yang belum dapat terpenuhi dalam hal ini adalah tentang produk akhir yang mengandung proporsi maksimum bahan mentah. Dari metode sintesis furfural yang telah dikembangkan persen hasil furfura dibanding bahan mentahnya hanya 5,58%, hal ini berarti tidak memenuhi prinsip tersebut. Di sisi lain dari metode sintesis furfural ini juga masih menghasilkan limbah yang cukup banyak.

SIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa 1. Waktu pemanasan dan konsentrasi asam sulfat optimum pada pembuatan furfural dari campuran limbah pertanian adalah 5 jam dan konsentrasi asam 10% (1,876 M) dengan rendemen sebesar 5,58%. Metode sintesis furfural yang dikembangkan dapat memenuhi 11 dari 12 prinsip green chemistry yang ditetapkan.

SARAN

Berdasarkan pengamatan pada saat penelitian furfural belum habis tersintesis

meskipun pada waktu pemanasan optimum, sehingga perlu dilakukan penelitian selanjutnya sehingga diketahui waktu optimum ketika furfural sudah tidak tersintesis. Selain itu pada pembuatan furfural dihasilkan limbah yang cukup banyak dari pada produk yang diinginkan, sehingga perlu dilakukan penelitian tentang pengolahan limbah sintesis furfural.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya atas dukungan dana penelitian dari Direktorat Penelitian dan pengabdian kepada Masyarakat Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi DP2M-DIKTI melalui Penelitian Hibah Strategis Nasional 2009.

DAFTAR PUSTAKA

- Anastas P.T. and Warner J.C., 1998. *Green Chemistry: Theory and Practice*, Oxford University Press, Oxford, 1998.
- Gorecka, 2002. Sorption Of Bile Acids And Cholesterol By Dietary Fiber Of Carrots, Cabbage And Apples. *EJPAU* 5(2), #02. Available Online: <http://www.ejpau.media.pl/volume5/issue2/>

- [food/art-02.html](#) diakses tanggal 24 Maret 2011.
- Mitarlis, Suyatno dan Wikandari, P.R. 2002. *Pemanfaatan Limbah Pabrik Gula (Ampas Tebu) dan Limbah Industri Perakayuan (Grajen Kayu) untuk Pembuatan Furfural sebagai Bahan Dasar Alternatif Senyawa Tabir Matahari*. Surabaya: Lembaga Penelitian Unesa.
- Othmer, K. 1980. *Encyclopedia of Chemical Technology: Fluorine Compounds, Organic to Gold Compound*. Volume 11. New York: John Wiley and Sons.
- Wijarnako, Anondho, Johannes Anton Witono, Made Satria Wiguno. 2006. Tinjauan Komprehensif Perancangan Awal Pabrik Furfural Berbasis Ampas Tebu di Indonesia. *Journal of Oil and Gas Community*. Komunitas Migas Indonesia.