PENGHEMATAN KONSUMSI KATALIS DALAM PROSES HIDROLISIS TANDAN KOSONG SAWIT UNTUK PRODUKSI FURFURAL

Diyah Fadjarwaty dan Herri Susanto

Program Studi Teknik Kimia,
Kelompok Keahlian Energi dan Sistem Pemroses Teknik Kimia
Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Bandung
Jl. Ganesa 10, Labtek X, Bandung 40132, Tlp. (022) 2500989 ext. 405

Naskah diterima 7 Juli 2005, dinilai 11 Juli 2005, dan disetujui 21 Nopember 2005

Abstrak

Salah satu pemanfaatan biomassa limbah padat pertanian dan perkebunan adalah produksi furfural melalui proses hidrolisis dan distilasi azeotrop. Hidrolisis TKS (tandan kosong sawit) dilaksanakan dalam suasana asam yang umumnya dengan H_2SO_4 sebagai katalis. Pada operasi distilasi pengambilan furfural, H_2SO_4 bekas hidrolisis tertinggal bersama air sebagai produk bawah. Untuk mengurangi konsumsi H_2SO_4 dalam hidrolisis, produk bawah distilasi ini terbukti dapat digunakan sebagai cairan hidrolisis berulang sampai 3 kali. Pada hidrolisis dengan cairan segar, kebutuhan H_2SO_4 (98% teknis) adalah 42 mL/kg bahan baku. Tetapi pada hidrolisis dengan produk bawah ulangan pertama, kebutuhan H_2SO_4 tambahan untuk menyesuaikan pH cairan pemasak hanya 17 mL/kg TKS kering. Pada hidrolisis dengan produk bawah ulangan kedua, kebutuhan H_2SO_4 29 mL/kg. Perolehan furfural dari ketiga ulangan hidrolisis berturut-turut adalah 16,8; 16,1 dan 10,7 g/kg. Penggunaan produk bawah distilasi untuk hidrolisis ulangan keempat memberi hasil yang kurang memuaskan.

Kata Kunci: TKS, Furfural, Hidrolisis Asam

Abstract

One of possible utilizations of abundant agricultural solid waste such as palm oil empty fruit bunches is the conversion to furfural via acid hydrolysis and followed by azeotrope distillation. With the aim to reduce the consumption of H_2SO_4 in the furfural production from oil palm empty fruit bunches, acid hydrolysis was accomplished using the spent acid left as the bottom product of distillation during furfural recovery. The use of spent acid could reduce the need of H_2SO_4 from 42 at the first cycle to 17 mL/kg at the second cycle, while the need of H_2SO_4 in the third cycle was 29 mL/kg. Furfural yields in these cycles were up to 16.8, 16.1 and 10.7 g/kg respectively. The use of spent acid at the forth cycle was not effective anymore.

Keywords: Oil Palm Empty Fruit Bunches, Furfural, Acid Hidrolisis

1. Pendahuluan

Tandan kosong sawit (TKS) merupakan limbah pertanian yang mengandung lignoselulosa. Sampai saat ini, limbah perkebunan yang melimpah ini belum dimanfaatkan secara maksimal, umumnya hanya dibakar atau sebagian dijadikan pupuk saja. Padahal dengan kandungan hemiselulosa (15-27%), selulosa (36-42,7%) dan lignin (16-27%), TKS ini dapat dikembangkan menjadi suatu produk yang lebih bermanfaat dan memiliki nilai ekonomi yang lebih baik.

Sebagai bahan baku penghasil furfural, TKS dihidrolisis menggunakan katalis asam sulfat encer di dalam *digester* bertekanan tinggi (10 bar). Pada temperatur 150 °C selama 4 jam atau 170 °C selama 2 jam, hidrolisis tersebut menghasilkan hidrolisat dengan kandungan furfural 10 g/L (Fadjarwaty, D., 2000). Selanjutnya furfural diperoleh dari proses distilasi tumpak (diskontinu) yang menghasilkan distilat berupa furfural mentah 94%.

Produk bawah distilasi mengandung H_2SO_4 dan gula xylosa, serta senyawa-senyawa organik hasil hidrolisis lain misalnya asetaldehid, etanol, methanol, 5-metil furfural, dan furil metil keton. Untuk penghematan katalis H_2SO_4 dan mengurangi pencemaran lingkungan, diupayakan penggunaan ulang produk bawah distilasi tersebut. Produk bawah mungkin mengandung asam asetat dan asam formiat yang diharapkan mendorong proses hidrolisis. Penggunaan ulang produk bawah untuk hidrolisis berikutnya dikhawatirkan tidak terlalu baik karena mengandung berbagai senyawa. Dua kemungkinan yang bertolak belakang ini perlu dipelajari secara eksperimental.

Disamping pemanfaatan ulang produk bawah yang mengandung sisa H_2SO_4 , upaya penghematan katalis dapat diarahkan pada penggunaan asam anorganik dengan sifat fisik yang sangat berbeda dari air seperti HCl dan H_3PO_4 , agar mudah dipulihkan (*recovery*). HCl sangat mudah menguap dan memiliki nilai keasaman yang lebih tinggi dibandingkan dengan H_3PO_4 . HCl sering digunakan juga sebagai pengganti H_2SO_4 dalam produksi furfural.

Penelitian ini ditujukan untuk meningkatkan kinerja proses produksi furfural dalam aspek penghematan biaya katalis tanpa mengurangi perolehannya dengan cara penggunaan sisa hidrolisat (produk bawah distilasi) yang masih mengandung H_2SO_4 dan juga mengandung asam-asam organik yang terbentuk pada proses hidrolisis dan penggunaan HCl bersama dengan garam NaCl yang berperan sebagai *salting out agent*.

Metode pemasakan dengan HCl dilakukan atas dasar metode analisis kadar pentosan. Salah satu keunggulan HCl adalah lebih mudah melepaskan ion H^+ yang diperlukan dalam proses hidrolisis dibandingkan terhadap H_2SO_4 .

Pada penelitian ini yang menjadi tolok ukur keberhasilan adalah perolehan furfural, kebutuhan bahan katalis, harga katalis, daur ulang katalis dan sifat korosif katalis. Disamping aspek penghematan biaya katalis, dampak lingkungan proses produksi furfural ditinjau dengan menguji BOD dan COD air buangan proses.

2. Fundamental

Pemanfaatan furfural cukup luas dalam beberapa industri. Furfural sebagai pelarut selektif digunakan pada proses ekstraksi dalam pemurnian minyak pelumas. Ekstraksi dilakukan untuk memisahkan senyawa hidrokarbon jenuh dari senyawa tidak jenuh. Furfural juga digunakan sebagai pelarut ekstraksi pemurnian butadiena. Dalam industri damar, furfural digunakan untuk operasi pemurnian agar produk berwarna merah muda. Selain itu, furfural juga berfungsi sebagai pelarut dalam produksi *nitrocellulose* dan *cellulose acetate* serta pencelupan sepatu kulit.

Furfural merupakan bahan pembentuk senyawa lain, seperti furan dan tetrahidrofuran seperti furfural alkohol, tetrahidrofurfural alkohol, furan, metil furan dan metil tetrahidrofuran. Sebagai bahan dasar sintesis nilon, furfural harus terlebih dahulu dikonversi menjadi asam adipat dan heksametilendiamin. Selain itu, furfural juga digunakan untuk membentuk *lysin*, herbisida dan fungisida serta banyak digunakan dalam industri farmasi. Dalam berbagai variasi produk komersial, furfural berfungsi sebagai bahan baku pirol, pirolidin, pirimidin, piperidin, asam levulinic, -velerolakton dan 5-metil-2 pirolidon. Furfural direaksikan dengan fenol akan membentuk resin furfural-fenol yang berguna dalam bentuk *varnishes* dan resin pengikat.

Furfural ($C_5H_4O_2$) murni hasil distilasi merupakan cairan tak berwarna dan memiliki aroma harum. Beberapa saat setelah proses distilasi pemurniannya, furfural akan berubah warna saat kontak dengan udara menjadi coklat kehitaman. Furfural juga termasuk zat yang mudah terbakar. Furfural merupakan senyawa karsinogenik dan menyebabkan iritasi jika kontak dengan kulit atau mata. Pada konsentrasi uap furfural di atas 1,9 ppm dapat menimbulkan gangguan saluran pernapasan (Othmer and Kirk, 1969).

Proses hidrolisis merupakan tahap penting dalam produksi furfural dari TKS yang mengandung lignoselulosa. Sebagaimana umumnya biomassa, lignoselulosa terdiri dari tiga komponen yaitu selulosa, hemiselulosa dan lignin. Pentosan adalah komponen terbesar (23%) dari hemiselulosa (Goldstein, IS., 1980).

Pembuatan furfural terdiri dari dua tahap yaitu hidrolisis dan distilasi azeotrop. Reaksi utama pembuatan furfural meliputi hidrolisis pentosan menjadi pentosa (reaksi 1) dan dehidrasi pentosa membentuk furfural (reaksi 2)

Pada proses hidrolisis, pentosa merupakan produk antara dan tidak semuanya akan menjadi furfural. Sehingga pada akhir hidrolisis, hidrolisat masih mengandung pentosa (Brownlee, HJ., 1948).

Pada proses hidrolisis hemiselulosa, pentosan mengalami dekomposisi menjadi pentosa. Selanjutnya pentosa terdehidrasi menjadi furfural. Hidrolisis hemiselulosa dapat dilakukan secara enzimatis atau dengan penggunaan katalis asam (Zeitsch, KJ., 1990). Namun proses yang umum dilakukan dalam produksi furfural adalah hidrolisis dengan asam. Beberapa peneliti menggunakan proses ini dengan berbagai jenis asam sebagai katalis, misalnya asam sulfat encer, HCl, dan CH₃COOH.

Hidrolisis dengan asam encer pada berbagai konsentrasi, temperatur dan waktu bertujuan untuk mengkonversi hemiselulosa sebanyak-banyaknya tanpa merusak selulosa. Temperatur dan konsentrasi asam merupakan faktor penting dalam hidrolisa. Hidrolisis hemiselulosa dengan asam encer akan menghasilkan tiga jenis monosakarida yaitu xylose, arabinosa dan glukosa. Dari ketiga jenis

gula ini, xylose dan arabinosa merupakan komponen terbesar. Rendahnya kadar glukosa dalam filtrat menunjukkan bahwa tidak terjadi hidrolisis selulosa (Darnoko, 1990). Selama hidrolisis asam berlangsung, pentosa akan terdegradasi lanjut menjadi furfural dan produk-produk terdekomposisi lain seperti asam organik.

Asam sulfat lebih sering digunakan sebagai katalis pada industri furfural. Karena asam sulfat merupakan asam kuat dan tidak mudah menguap. Sehingga kontak dengan partikel bahan baku akan lebih lama (Othmer dan Kirk, 1969). Penggunaan asam sulfat cukup efektif untuk menghilangkan hemiselulosa tanpa merusak selulosanya. Jumlah asam sulfat yang sering digunakan sekitar 2-4% dari berat bahan baku. Jumlah ini dapat menutupi 1% dari seluruh permukaan partikel bahan baku (Medeiros, DJ. 1985).

Pembentukan furfural juga dapat dilakukan dengan menggunakan katalis asam klorida (HCl). Tetapi HCl jarang sekali digunakan karena mudah menguap dan sangat korosif. Dari hasil penelitian terdahulu, penggunaan asam klorida sebagai katalis memberi konversi hemiselulosa lebih baik dibandingkan dengan asam sulfat (Fadjarwaty, D., 2000). Hal ini disebabkan karena HCl mempunyai tingkat keasaman lebih besar daripada H₂SO₄ dan lebih mudah melepaskan ion H⁺. Ion H⁺ inilah yang diperlukan dalam proses hidrolisis.

Proses hidrolisis dengan katalis asam yang selama ini telah dilakukan menghasilkan hidrolisat dengan kandungan furfural sekitar 8-10 g/L. Pada konsentrasi ini, furfural dari hidrolisat dapat dipisahkan dengan distilasi azeotrop menjadi dua lapisan. Lapisan kaya air dan lapisan kaya furfural. Untuk menghasilkan furfural murni dilakukan distilasi vakum terhadap lapisan kaya furfural.

Tabel 1. Kondisi Hidrolisis

	hidrolisis konvensional (pembanding)	hidrolisis dengan asam daur ulang	hidrolisis konvensional (pembanding)	hidrolisis dengan asam daur ulang
katalis	H ₂ SO ₄	H ₂ SO ₄ sisa	HCl	HCl sisa
jumlah asam	7,5% terhadap bahan baku	sesuai kebutuhan agar pH 2,5	HCl 3,85 N	tidak ada penambahan
perbandingan cairan pemasak thd bahan padat	4 L/kg	4 L/kg	10 L/kg	10 L/kg
waktu	4 jam	4 jam	10 jam	10 jam
temperatur	150 °C	150 °C	titik didih atmosferik (98 °C)	titik didih atmosferik (98 °C)

3. Metodologi

Hidrolisis tandan kosong sawit dilakukan dalam *digester* 2 L dengan pelarut produk bawah distilasi yang masih mengandung H_2SO_4 . Proses hidrolisis dilakukan dengan kondisi operasi optimum hasil penelitian sebelumnya. Variabel operasi ditunjukkan pada Tabel 1. Hasil-hasil percobaan ini dibandingkan terhadap hasil pemasakan dengan H_2SO_4 segar.

Pemisahan furfural yang terkandung dalam hidrolisat dilakukan dengan proses distilasi tumpak dalam reboiler 1.5 L dengan kolom *vigreux* berdiameter 3 cm dan panjang ± 100 cm. Unit distilasi ini dilengkapi dengan *decanter* di bawah kondensor untuk memisahkan lapisan distilat kaya air (atas) dan lapisan kaya furfural (bawah). Fasa furfural diambil sebagai produk, sedangkan fasa air dikembalikan ke kolom sebagai refluks total.

Produk bawah distilasi digunakan untuk proses hidrolisis berikutnya. Penggunaan ulang katalis dilakukan bertahap dan tingkat daur ulang yang optimal ditetapkan atas dasar perolehan furfural dan konsumsi H_2SO_4 segar.

TKS yang digunakan pada penelitian ini adalah TKS kering dari PTP Nusantara VII Lampung. Kandungan pentosan dalam bahan baku tersebut diukur dengan menggunakan *classical method* 1984 (TAPPI 223 cm-84). Katalis asam yang digunakan pada hidrolisis adalah H_2SO_4 (teknis 98%) dan HCl (teknis 35%). NaCl sebagai *salting out agent* pada hidrolisis dengan HCl.

Keasaman (pH) pelarut asam encer segar diukur sebelum digunakan dalam proses hidrolisis pertama. Hidrolisat yang dihasilkan diukur pH, kandungan gula, furfural, dan senyawa organik seperti asam asetat, asam formiat.

Analisis furfural dilakukan terhadap lapisan kaya furfural dan produk bawah distilasi. Analisis keasaman dan kadar gula dilakukan terhadap produk bawah distilasi. Pengukuran kadar furfural dan senyawa organik lain dilakukan dengan menggunakan kromatografi gas. Kadar gula di dalam hidrolisat diukur menggunakan spektrometer dengan reagen SamogyNelson. Keasaman setiap hidrolisat dan cairan produk bawah distilasi diukur menggunakan pH meter. Sebagai limbah cair, sisa distilasi juga diukur konsentrasi BOD dan COD.

4. Hasil dan Diskusi

Percobaan daur ulang katalis H_2SO_4 dilakukan dalam tiga seri percobaan yang masing-masing terdiri dari empat tahap dengan kondisi katalis yang berbeda (1, 2, 3, 4). Beberapa seri dilakukan berulang untuk mencukupi kebutuhan cairan pemasak pada tahap berikutnya (lihat Gambar 1).

Proses hidrolisis tahap pertama untuk seri A, seri B, dan seri C masing-masing menggunakan asam H_2SO_4 segar sebanyak 14,6 mL dan pH pelarut awal menunjukkan harga sekitar 1,5-1,7. Konsentrasi furfural yang terkandung dalam hidrolisat sekitar 7-8 g/L dan gula sekitar 8-15 g/L. Hidrolisat didistilasi sehingga menghasilkan furfural mentah 3-6 mL setiap 600 mL hidrolisat. Produk bawah sisa distilasi mempunyai pH sekitar 2-2,5. Produk bawah tiga percobaan (3 x percobaan no.1, lihat Gambar 1) dikumpulkan menjadi satu (bulatan no.2). Untuk mencapai pH yang sama dengan pH pelarut awal, harus ditambahkan 5-6 mL H_2SO_4 segar ke dalam kumpulan produk bawah tersebut.

Gambar 1. Seri Percobaan Daur Ulang H_2SO_4

Selanjutnya produk bawah tahap pertama digunakan untuk proses hidrolisis tahap kedua. Hidrolisat dari pemasakan tahap kedua untuk seri A, seri B, dan seri C masing-masing mengandung furfural sekitar 6-8 g/L dan gula sekitar 6-13 g/L.

Setelah hidrolisat tahap kedua didistilasi dan menghasilkan furfural mentah 2,5-5 mL, produk bawah yang tersisa dengan pH 3 (bulatan no. 2, Gambar 1) digunakan sebagai pelarut pada hidrolisis tahap ketiga (bulatan no. 3). H_2SO_4 segar yang ditambahkan untuk menyesuaikan pH dengan pelarut awal sekitar 8-10 mL. Hidrolisat yang mengandung furfural 3-6 g/L dan gula 5-8 g/L kemudian didistilasi dan menghasilkan furfural 2-4 mL. Produk bawah yang tersisa mempunyai nilai pH 4 dan membutuhkan sekitar 12 mL H_2SO_4 segar untuk dapat digunakan sebagai pelarut hidrolisis tahap keempat (bulatan no.4). Hidrolisis tahap keempat menghasilkan hidrolisat yang mengandung furfural 4 g/L dan gula 11 g/L. Hasil tersebut secara ringkas ditunjukkan pada Gambar 2.

Seri A

Seri B

Seri C

Gambar 2. Konsentrasi Furfural dan Gula

Peningkatan pH pada setiap tahap diikuti oleh peningkatan kebutuhan H_2SO_4 segar yang ditambahkan. Hal ini disebabkan oleh terbentuknya senyawa-senyawa organik lain dalam proses hidrolisis sehingga mempengaruhi keasaman pelarut. Grafik hubungan antara pH produk bawah distilasi dan tahap operasi ditunjukkan pada Gambar 3.

Gambar 3. Hubungan Antara pH Produk Bawah Distilasi dengan Tahap Operasi

Dari data pada Gambar 2 nampak bahwa pengaruh sisa katalis asam dalam produk bawah distilasi dapat mendorong terjadinya reaksi pembentukan furfural. Hal ini dipengaruhi juga oleh adanya asam asetat yang terbentuk sebagai produk samping. Asam asetat yang terkandung dalam produk bawah distilasi sekitar 7-30 g/L. Selain asam asetat, asam organik lain yang dihasilkan sebagai produk samping proses hidrolisis adalah asam format.

Gambar 4. Grafik Perolehan Furfural dengan Katalis H_2SO_4

Sisa cairan distilasi dari tahap keempat tidak digunakan kembali pada tahap percobaan selanjutnya karena pemakaian ulang katalis sudah tidak efisien lagi, karena H_2SO_4 segar yang ditambahkan lebih dari 80% jumlah awal. Tentunya produk bawah ini sudah terakumulasi dengan berbagai senyawa yang mungkin menghambat produksi furfural.

Kandungan BOD dan COD pada hidrolisat dari proses dengan H_2SO_4 ini adalah 25000 mg/L dan 61000 mg/L, sedangkan pada produk bawah distilasi adalah 65000 mg/L dan 121000 mg/L. Harga tersebut jauh di atas harga baku mutu yang ditetapkan pemerintah yaitu 50 mg/L untuk BOD dan 100 mg/L untuk COD.

Seperti percobaan penggunaan ulang katalis H_2SO_4 , untuk mencukupi cairan pemasak pada tahap berikutnya, percobaan dengan katalis HCl dilakukan dengan dua seri percobaan yang masing-masing terdiri dari empat tahap (Gambar 5). Namun berbeda dengan percobaan dengan H_2SO_4 , percobaan daur ulang katalis HCl dilakukan tanpa penambahan HCl segar pada tahap berikutnya. Hal ini disebabkan karena pelarut awal dan produk bawah distilasi setiap tahap hidrolisis memiliki pH sama sekitar 0,5.

Gambar 5. Seri Percobaan Daurlang HCl

NaCl yang ditambahkan sebagai *salting out agent* pada setiap tahap sama dengan berat umpan kering. Hal ini dilakukan karena pada penambahan setengah atau dua kali jumlah umpan yang digunakan tidak menghasilkan furfural pada distilasi azeotrop. Jika NaCl dalam jumlah kecil, kemampuannya kurang untuk mendorong furfural terpisah dari air. Penambahan NaCl yang terlalu banyak akan mengganggu kestabilan kondisi cairan pemasak menjadi jenuh sehingga tidak mampu mengkonversi pentosan menjadi furfural.

Masing-masing tahap untuk seri A dan seri B dilakukan dengan berat umpan yang sama yaitu 35 g. Pemasakan tahap pertama pada seri A dan seri B dilakukan dengan katalis HCl segar menghasilkan 2-3 mL furfural mentah pada distilat. Produk bawah distilasi yang diperoleh selanjutnya digunakan untuk hidrolisis tahap kedua.

Distilat proses tahap ini menghasilkan furfural sekitar 1,6-2 mL. Produk bawah distilasi tahap kedua selanjutnya digunakan sebagai cairan pemasak tahap ketiga dan menghasilkan furfural mentah 1,5-2 mL. Pada pemasakan tahap keempat dengan pelarut produk bawah distilasi tahap ketiga diperoleh furfural mentah sekitar 1,4 mL. Produk bawah distilasi mengandung furfural sekitar 0,12 g/L dan gula sekitar 1,4-4 g/L. Grafik hasil analisis konsentrasi furfural dan gula rata-rata setiap tahap untuk produk bawah distilasi hidrolisis tersebut ditunjukkan pada Gambar 6.

Seri A

Seri B

Gambar 6. Konsentrasi Furfural dan Gula pada Produk Bawah Distilasi dengan Katalis HCl

Sampai pada tahap keempat, penggunaan katalis HCl tanpa penambahan HCl segar masih mampu menghasilkan furfural hingga terbentuk sebagai distilat fasa furfural (Gambar 7). Selain HCl tidak banyak yang hilang, walaupun HCl mudah menguap, mungkin *salting out agent* juga berperan dalam penghematan HCl ini.

Selain konsentrasi furfural dan gula, analisis yang dilakukan adalah mengukur kadar asam asetat dalam produk bawah distilasi. Asam asetat yang merupakan produk samping juga dapat mendorong reaksi pembentukan furfural. Seperti halnya katalis-katalis lain, asam asetat juga tidak ikut bereaksi sehingga jumlahnya akan tetap atau bahkan konsentrasi asam asetat makin

bertambah untuk setiap tahap percobaan akibat akumulasi setiap tahap. Konsentrasi asam asetat pada produk bawah distilasi dari hidrolisis dengan HCl tanpa penggunaan ulang berkisar antara 3-5 g/L. Sedangkan dengan penggunaan ulang katalis konsentrasi asam asetat bertambah menjadi 6-15 g/L.

Gambar 7. Grafik Perolehan Furfural dengan Katalis Hcl

Selain konsentrasi furfural dan gula, analisis yang dilakukan adalah mengukur kadar asam asetat dalam produk bawah distilasi. Asam asetat yang merupakan produk samping juga dapat mendorong reaksi pembentukan furfural. Seperti halnya katalis-katalis lain, asam asetat juga tidak ikut bereaksi sehingga jumlahnya akan tetap atau bahkan konsentrasi asam asetat makin bertambah untuk setiap tahap percobaan akibat akumulasi setiap tahap. Konsentrasi asam asetat pada produk bawah distilasi dari hidrolisis dengan HCl tanpa penggunaan ulang berkisar antara 3-5 g/L. Sedangkan dengan penggunaan ulang katalis konsentrasi asam asetat bertambah menjadi 6-15 g/L.

Analisis ekonomi menunjukkan bahwa penggunaan ulang katalis H_2SO_4 lebih menguntungkan dibandingkan terhadap hidrolisis dengan HCl. Hal tersebut dapat dilihat dari grafik konsumsi spesifik katalis (Gambar 8) dan kurva perbandingan harga katalis terhadap harga furfural yang digunakan (Gambar 9).

Gambar 8. Konsumsi Spesifik Katalis H_2SO_4 dan Hcl

Gambar 9. Kurva Perbandingan Harga H_2SO_4 dan HCl terhadap Harga Furfural yang Dihasilkan

5. Kesimpulan

Berdasarkan perolehan furfural pada penggunaan ulang katalis H_2SO_4 dapat disimpulkan bahwa sisa katalis yang berada dalam produk bawah distilasi dapat digunakan sebagai katalis pada proses hidrolisis selanjutnya. Penambahan H_2SO_4 segar pada tahap pertama sekitar 14,6 mL, tahap kedua sekitar 5 mL dan tahap ketiga sekitar 10 mL. Perolehan furfural

tahap pertama, kedua, dan ketiga berturut-turut adalah 16,8 ; 16,1 (turun 4,1% dari awal), dan 10,7 (turun 36%) g furfural/kg bahan baku. Sedangkan tahap keempat dianggap tidak ekonomis lagi karena H_2SO_4 segar yang ditambahkan sekitar 12 mL ($\pm$ 80%) dan perolehan furfural sekitar 9,4 g furfural/kg bahan baku (turun 44% dari awal).

Penggunaan ulang katalis HCl dapat menghasilkan furfural lebih banyak dibandingkan dengan katalis H_2SO_4 dan tidak ada penambahan HCl segar untuk proses hidrolisis selanjutnya. Penggunaan ulang katalis asam HCl masih dapat dilakukan sampai tahap keempat dengan perolehan furfural sekitar 56 g furfural/kg bahan baku.

Waktu yang dibutuhkan hidrolisis dengan HCl lebih lama dibandingkan terhadap yang H_2SO_4 (10 vs 2 jam). Biaya kebutuhan H_2SO_4 dan HCl berturut-turut adalah: 14000 Rp/kg furfural dan 170000 Rp/kg furfural. Sehingga dapat disimpulkan penggunaan ulang katalis H_2SO_4 masih lebih menguntungkan dibandingkan dengan HCl.

Kandungan BOD dan COD pada hidrolisat hasil hidrolisis dengan H_2SO_4 berturut-turut adalah 25000 mg/L dan 61000 mg/L. Sedangkan pada produk bawah distilasi adalah 65000 mg/L dan 121000 mg/L. Dari hasil analisis BOD dan COD tersebut maka penggunaan produk bawah distilasi sebagai pelarut pada proses hidrolisis selanjutnya sangat tepat karena, selain mengurangi konsumsi katalis asam, juga dapat mengurangi pencemaran lingkungan.

Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Hernindya, ST., Harmiwati NH, ST, MT., Cun Cun, ST., Danan, ST., Umar, ST., dan Hadi, ST. atas kerjasamanya selama penelitian. Penelitian ini didanai dengan *Riset Unggulan ITB 2004*.

Daftar Pustaka

- [1] Darnoko., (1990), "Pengaruh Konsentrasi Asam, Suhu, dan Waktu terhadap Hidrolisis Hemiselulosa Tandan Kosong Kelapa Sawit", *Menara Perkebunan*
- [2] Fadjarwaty, D., Susanto, H., (2000), "Optimasi Kondisi Hidrolisis Tandan Kosong Sawit untuk produksi Gula dan Furfural", *Prosiding Seminar Nasional Rekayasa Kimia dan Proses*, Universitas Diponegoro, Semarang
- [3] Othmer dan Kirk., (1969), "Furfural and Other Furan Compounds", *Encyclopedia of Chemical Technology*, 2nd Ed., Vol. 10
- [4] Brownlee, HJ., (1948), "Industrial Development of Furfural", *Industrial and engineering Chemistry*, February
- [5] Goldstein, IS., (1980), *The Hydrolysis of Wood*, Tappi, September
- [6] Othmer dan Kirk., (1969), "Sulfuric Acid and Sulfur Trioxide", *Encyclopedia of Chemical Technology*, 2nd Ed., Vol. 19
- [7] Zeitsch, KJ., (1990), "Process for Producing Furfural", *US Patent*, No. 4.912.237
- [8] Medeiros, DJ., (1985), "Furfural Process, *US Patent*", No. 4.533.743