Jurnal Reka Buana Volume 1 No 2, Maret 2016 - Agustus 2016

OPTIMALISASI KINERJA ALAT PENGHASIL ASAP CAIR DARI BAHAN BAKU LIMBAH PERTANIAN

SP. Abrina Anggraini, Tiya Nurhazisa

PS. Teknik Kimia, Fak. Teknik. Universitas Tribhuwana Tunggadewi Malang
Jl. Telaga Warna-Tlogomas Malang 65144
Email : sinar_abrina@yahoo.co.id

Abstract

Currently the rottenable food material needs for preservation technology that was safe for people's health. Recently, liquid smoke technology which is used as an alternative material of food preservatives is from any agricultural waste. Liquid smoke beginning to develop by researchers, to get the higher quality in order to become safe for consumption by the public and not contains carcinogenic substance. The purpose of this study was to determine the performance of liquid smoke tools, the quantity and quality of liquid smoke. In this research, the material used was corn cob and coconut shell using the main tool of pyrolysis reactor, with the optimum operating conditions and then analyzed using GC/MS and LC/MS. The result showed that the yield of liquid smoke coconut shell without drying and through drying was 36% and 28.8%, while from the corn cob was 61.2% and 30.4%. Charcoal of coconut shell 33% and 50% while from the corn cob was 16.7% and 33.3%. The number of missing components from coconut shell is 31% and 21.2% while from the corn cob was 22.1% and 36.3%%. Performance of liquid smoke tools from coconut shell is 4.37 g/(hour.m) and 5.59 g/(hour.m) while from corncobs is 7.42 g/(hour.m) and 7.37 g/(hour.m). The phenol quality of the resulting liquid smoke from coconut shell and corncob was 3.04% and 1.38%. Acidity quality was 7.3% and 1.3%. The value of pH was 1.41 and 2.47.

Keywords: liquid smoke, tool performance, quality, yield

Pendahuluan

Saat ini banyak para pedagang makanan yang melakukan kecurangan-kecurangan hanya sekedar untuk mendapatkan laba tapi tidak memperhatikan kesehatan konsumen sebagai pembeli karena menggunakan borak sebagai bahan pengawet makanan. BPOM sebenarnya sudah melarang untuk penggunaan bahan tersebut, tetapi para pedagang tetap mennguankan karena tergiur dengan harga yang murah dan mudah sekali didapat dipasaran yang mengakibatkan terjadi kerugian kesehatan bagi masyarakat yang telah mengkonsumsi. Saat ini perlu adanya pemanfaatan limbah pertanian (tempurung kelapa dan tongkol jagung) bagi kebutuhan masyarakat secara umum yaitu dengan memberikan solusi dari permasalahan masyarakat tentang penggunan pengawet makanan yang aman digunakan bagi para pedagang makanan.

Untuk membantu program pemerintah dan masyarakat yang merasa dirugikan dalam hal kesehatan, maka ada tenologi asap cair yang ternyata dapat digunakan sebagai bahan pengawet alternatif yang aman digunakan oleh masyarakat. Pemanfaatan tempurung kelapa dan tongkol jagung dapat dibuat sebagai asap cair. Asap cair banyak mengandung senyawa asam organik yang mampu menghambat berkembangnya mikroba seperti fenol,asam asetat, dan karbonil, selain itu tidak akan mencemari lingkungan karena bahan yang

digunakan berasal dari biomassa. Penelitian tentang asap cair sudah mulai berkembang karena adanya keluhan dari masyarakat tentang borak dan formalin yang dijual bebas untuk digunakan sebagai pengawet makanan sehingga para peneliti mengembangakan penelitian tentang pengawetan makanan yang aman digunakan oleh pedagang makanan. Menurut peneliti Aulia S.A (2011) berpendapat bahwa kapasitas alat dengan bahan baku tempurung kelapa paling tinggi yaitu 1,0838 kg/jam sedangkan tongkol jagung sebesar 0,9091 kg/jam. Rendemen yang didapat yaitu tempurung kelapa 31,85% dan tongkol jagung 33%. Penelitian asap cair juga pernah dilakukan Sari R.N et al (2007) dengan kondensor sepanjang 1,2 m dan lama waktu pirolisis 8 jam diperoleh kinerja alat asap cair dengan bahan baku serbuk gergaji kayu jati sabrang sebesar 6,89 g/(jam.m) dan rendemen asap cair adalah 38,0%; arang 32,0% sedangkan komponen yang hilang sebesar 30,0%. Pada peneliti Ernita Y (2011) menyatakan bahwa kinerja alat sebesar 1,25 kg/jam. Asap cair yang bermutu dapat dihasilkan dari kinerja alat yang optimal, sehingga perlu adanya uji kinerja rekayasa alat asap cair.

Pada penelitian ini digunakan bahan dari limbah pertanian berupa tempurung kelapa dan tongkol jagung yang selama ini bahan tersebut banyak yang belum termanfaatkan secara maksimal hanya berupa kerajinan kebutuhan rumah tangga, sehingga dalam penelitian ini akan dibuat asap cair yang bermanffat sebagai bahan alternatif pengawet yang alami yang aman digunakan oleh masyarakat. Menurut hasil penelitian Anggraini SPA (2014) bahwa untuk mendapatkan asap yang baik sebaiknya menggunakan kayu keras seperti tempurung kelapa dan tongkol jagung sehingga diperoleh produk asapan yang baik dengan rendemen yaitu 26,35% dan 27,58%.

Asap cair dihasilkan dari proses pirolisis yaitu dilakukan pembakaran di dalam reaktor pirlosisi pada suhu yang tinggi di dalam ruang yang tertutup rapat tanpa udara masuk. Pada teknologi pembuatan asap cair melalui proses pirolisis akan mengeluarkan tiga macam hasil setelah melewati kondensor yaitu fraksi berat, fraksi ringan, dan fraksi padat. Perangkat alat pirolisis terdiri dari bejana reaktor pirolisis, pipa kondensor, siklon penangkap tar, penampung tar, kondensor , dan penampung asap cair. Pada penelitian ini untuk menguji kinerja alat asap cair maka parameter yang digunakan antara lain rendemen dari asap cair dan arang, komponen yang hilang dan uji kinerja alat asap cair serta uji kualitas asap cair dengan alat gas kromatografi spectrometri massa (GC/MS) dan gas kromatografi spectrometri liquid (LC/MS). Tujuan penelitian ini adalah mengetahui kinerja alat asap cair, kuantitas dan kualitas asap cair.

Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan bahan baku yaitu tempurung kelapa dan tongkol jagung. Bahan bakar pada proses pirolisis ini digunakan adalah gas elpiji. Bahan- bahan kimia yang digunakan untuk karakterisasi asap cair antara lain larutan NaOH, KI, Na2S203, kanji, HCl pekat, metanol dan aquades. Alat utama yang digunakan yaitu reaktor pirolisis, kolom filtrasi zeolit aktif dan arang aktif. metode yang digunakan adalah eksperimental laboratorium. Peralatan untuk analisa hasil asap cair menggunakan antara lain pH meter merk Waterproof, Erlenmeyer bertutup, termometer, botol pisah, perangkat titrasi, dan peralatan pendukung berupa gelas ukur, beaker glass, dan corong. Sedangkan alat analisa yang digunakan adalah Gas Chromatography and Mass Spectrometri (GCMS) merk Hewlett Packard GC 6890 MSD 5973 yang dilengkapi data base sistemChemstation dan LCMS (Liquid Chromatography Mass Spectrometri) merk Shimadzu dengan kolom HP5 panjang 30 meter.

Pelaksanaan Penelitian

Mula-mula tempurung kelapa dan tongkol jagung dibersihkan dan dicacah dengan ukuran 6cm x 6cm, selanjutnya dijemur dan ditimbang 3 kg kemudian dimasukkan ke dalam reaktor pirolisis, dipanasi dengan suhu yaitu 250^{o}C selama 4

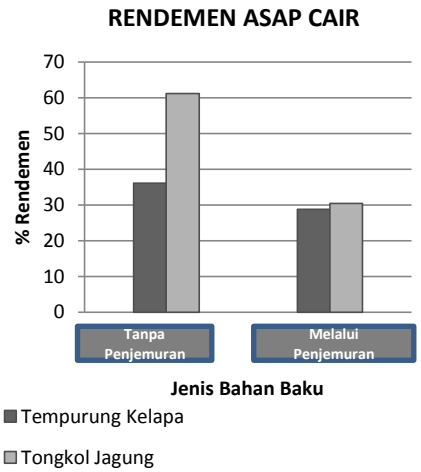
jam, akan diperoleh 3 fraksi yaitu fraksi padat berupa arang, fraksi berat berupa tar dan fraksi ringan berupa gas (methane) dan asap cair. Pada fraksi ringan didapatkan dari pipa kondensasi sehingga diperoleh asap cair sedangkan gas methane tetap menjadi gas tak terkondensasi. Selanjutnya dilakukan proses redestilasi untuk proses pemurnian. Asap cair yang keluar melalui proses kondensasi diendapkan terlebih dahulu sekitar satu minggu. Kemudian disaring diambil bagian atasnya. Selanjutnya dilakukan proses redestilasi pada suhu sekitar 150^{0}C berupa asap cair grade 2. Kemudian hasilnya dialirkan melewati kolom filtrasi dengan zeolit aktif dan arang yang diaktifkan. Caramya yaitu dengan mengalirkan asap cair dari grade 2 (setelah proses redestilasi) ke dalam kolom filtrasi zeolit aktif untuk mengurangi kandungan benzo(A) pyrene selanjutnya hasil yang keluar dialirkan ke kolom filtrasi karbon aktif untuk mengurangi bau yang menyengat sehingga akan didapatkan asap cair grade 1 yang aman dikonsumsi oleh masyarakat. Parameter kualitas pada asap cair yaitu meliputi penetapan pH, total fenol, kadar asam dan benzo (A)pyrene. Parameter kinerja alat asap cair yaitu melalui penetapan persentase asap cair, persentase arang, komponen yang hilang dan kapasitas alat/kinerja alat.

Analisa Hasil Penelitian

Analisa hasil yang terkandung dalam asap cair menggunakan GCMS kolom HP Ultra 2, temperatur oven 280^{o}C/10menit, injeksi 250^{o}C, dan interface 280^{o}C, gas pembawa helium, laju alir 0,6 µL/menit, dan volume injeksi 1 µL dan kandungan benzo(a) pyrene dianalisis dengan LCMS merk Shimadzu dengan kolom HP5 panjang 30 meter. Detektor yang digunakan Flame Ionization Detector (FID) dengan suhu 270 ^{o}C, suhu injektor 260^{o}C dan suhu kolom awal 50^{o}C dan akhir 250^{o}C dengan kenaikan 7,5 ^{o}C/menit. Gas pembawa berupa helium dengan feed flow sebesar 40 ml/menit yang bertekanan 60 KPa. Kecepatan kertas adalah 1 cm/menit dan banyaknya injeksi 0,08 µl serta pH meter merk Waterproof.

Hasil Dan Pembahasan

Persentase Asap Cair, Arang dan Komponen yang Hilang Pada hasil penelitian ini, ada beberapa parameter untuk mengetahui kuantitas (rendemen) asap cair dari tempurung kelapa dan tongkol jagung yang tanpa penjemuran dan melalui penjemuran. Hasil penelitian berikut ini akan ditunjukkan pada Grafik 1.



Grafik 1. Hasil Rendemen Asap Cair tanpa penjemuran dan melalui proses penjemuran dari tempurung kelapa dan tongkol jagung

Asap cair yang dihasilkan berwarna merah kecoklatan. Total asap cair yang tertampung (rendemen) dari tempurung kelapa tanpa penjemuran (basah) dan melalui penjemuran (kering) adalah 36% dan 28,8% sedangkan tongkol jagung sebesar 61,2% dan 30,4%. Rendemen asap cair tempurung kelapa pada keadaan basah lebih sedikit daripada tongkol jagung, hal ini karena tongkol jagung memiliki kadar air lebih besar yaitu 9,6% dari pada tempurung kelapa yaitu 8,0% sehingga menyebabkan persen kondensat yang didapatkan pada tongkol jagung lebih besar. Saat proses pirolisis berlangsung, terjadi proses kondensasi dan pada proses tersebut kandungan air yang ada pada bahan terikut keatas (menguap pada suhu 100^{o}C) sehingga akan menambah jumlah kondesat asap cair yang keluar.

Rendemen asap cair tempurung kelapa pada keadaan lebih kering hasilnya lebih banyak yaitu 61,2% daripada tongkol jagung yaitu 30,4%. Hal ini disebabkan karena

adanya proses penguapan kadar air saat proses penjemuran sebelum proses pirolisis sedangkan adanya perbedaan rendemen tersebut karena kandungan air yang terdapat pada tempurung kelapa lebih besar daripada tongkol jagung sehingga rendemen yang dihasilkan akan lebih besar tempurung kelapa daripada tongkol jagung.

Hal ini pula yang menyebabkan jenis kayu yang digunakan karena adanya kandungan lignin, selulosa yang berbeda. Hasil dari pirolisis adalah cairan, gas, dan arang. Cairan memiliki kelembaban tinggi yang berasal dari kelembaban asli dan air yang dihasilkan, dan itu merupakan campuran air dan bahan organik polar nilai.

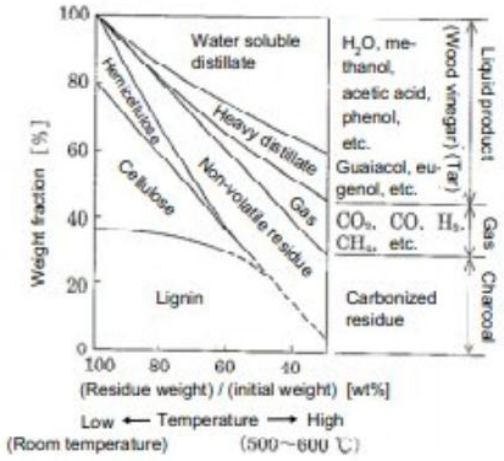
Hubungan antara viskositas dan nilai pemanasan cairan (12,5 - 21 MJ/Kg) ditunjukkan pada Gambar 1.

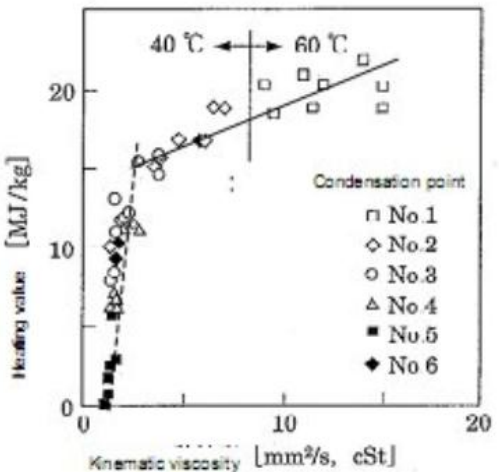
(Sumber : Biomassa Handbook)

Gambar 1. Hubungan antara viskositas dan nilai kalor cairan pirolisis

Pada Gambar 1 menunjukkan bahwa tingginya kadar air saat proses pembakaran akan menghasilkan nilai viskositas yang rendah dan nilai pemanasan yang lebih rendah. Gas pirolisis memiliki banyak CO2, CO, H2, Cl-5hidrokarbon sebagai gas yang mudah terbakar. Senyawa kimia yang terrdapat pada biomassa terdiri dari hemiselulosa, lignin dan selulosa.

Berikut ini Gambar 2 menunjukkan perubahan komponen senyawa kimia selama proses pirolisis. Hemiselulosa, lignin dan selulosa terdekomposisi seiring dengan kenaikan suhu.

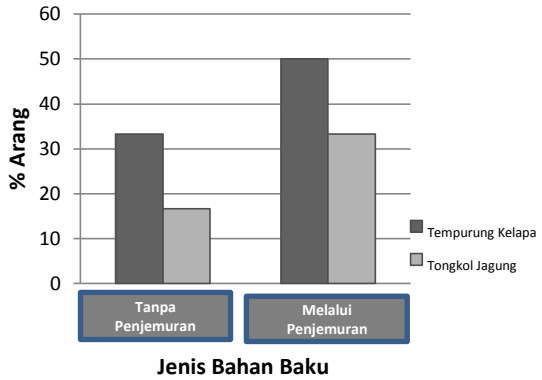




(Sumber : Biomassa Handbook)

Gambar 2. Perubahan komposisi selama pirolisis

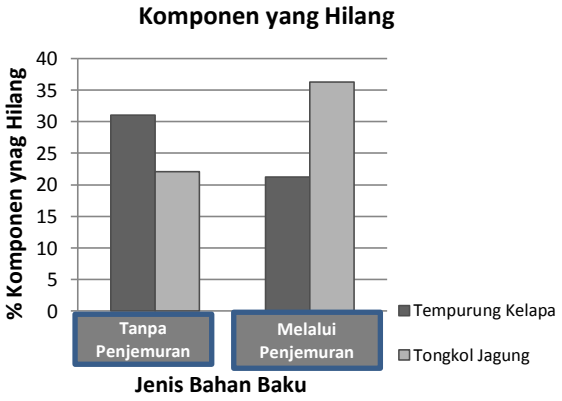
Residu padat adalah arang dengan hasil antara 33% sampai 50%, hal ini tampak pada Grafik 2 yaitu pada % arang tempurung kelapa pada keadaan basah dan melalui penjemuran sebesar 33% dan 50% sedangkan tongkol jagung sebesar 16,7% dan 33,3%. Hasil persentase arang dapat dilihat pada Grafik 2 berikut ini.



Grafik 2. Hasil Persentase Arang dari Proses Pirolisis dalam kondisi tanpa penjemuran dan melalui proses penjemuran dari tempurung kelapa dan tongkol jagung

Pada persentase arang dari tempurung dalam keadaan basah lebih besar daripada tongkol jagung, hal ini dikarenakan kandungan air yang terdapat pada tempurung lebih sedikit dari pada tongkol jagung sehingga hasil residu dari sisa pembakaran akan tersisa persentase arang yang lebih besar. Persentase arang dari tempurung kelapa pada keadaan kering lebih besar

daripada tongkol jagung, hal ini disebabkan karena pada keadaan proses penjemuran kandungan air yang pada tempurung kelapa mengalami proses kondensasi lebih besar sehingga banyak kadar air yang berkurang selama proses penjemuran. Pada hasil komponen yang hilang dapat ditunjukkan di dalam Grafik 3 berikut di bawah ini.



Grafik 3. Hasil Komponen yang Hilang dari Proses Pirolisis dalam kondisi penjemuran dan melalui proses penjemuran dari tempurung kelapa dan tongkol jagung.

Pada Grafik 3 menunjukkan hasil komponen yang hilang tempurung kelapa tanpa penjemuran (basah) dan melalui penjemuran sebesar 31% dan 21,2% sedangkan tongkol jagung sebesar 22,1% dan 36,3%. Hal ini disebabkan karena pada proses pirolisis berlangsung banyak asap yang keluar melalui tempat penampung tar dan tempat penampung asap cair yang keluar dari kondensor.Selain itu banyak komponen yang hilang saat proses penyaringan dan proses redestilasi karena terjadinya heat loss.

Kualitas Asap Cair

Kualitas asap cair dapat ditentukan melalui besarnya nilai kadar fenol dan kadar asam karena kandungan tersebut memiliki peran sebagai antioksidan dan antimikroba. Pada kadar fenol dan kadar asam menunjukkan bahwa semakin tinggi kadar fenol dan kadar asam maka semakin besar perannya sebagai antioksidan dan antimikroba sehingga akan menghambat pertumbuhan mikroba.

Pada Tabel 1 menunjukkan Hasil kadar fenol, asam asetat, nilai pH dan benzo(a) pyrene dari asap cair.

Tabel 1. Besarnya Nilai pH, Fenol dan Keasaman (Asam Asetat) Asap Cair dari Tempurung Kelapa dan Tongkol Jagung melalui proses penjemuran pada grade 1.

No	Bahan Baku	Fenol	Keasaman (Asam Asetat)	Nilai pH	Benzo(A)pyrene (ppb)
1	Tempurung Kelapa	3,04 %	7,3 %	1,41	Tidak terdeteksi
2	Tongkol Jagung	1,38 %	1,3 %	2,47	Tidak terdeteksi

Kadar Fenol

Fenol merupakan zat aktif yang dapat memberikan efek antibakteri dan antimikroba pada asap cair. Kadar fenol asap cair yang dihasilkan dari tempurung kelapa menunjukkan kadar tertinggi 3,04% dibandingkan dengan tongkol jagung (1,38 %). Hasil pirolisis lignin akan menghasilkan senyawa fenol. Senyawa ini berperan dalam pemberi aroma dan sebagai antioksidan.

Tempurung kelapa yang meiliki kadar fenol yang akan menunjukkan kualitas asap cair yang baik sebagai antioksidan yang menghambat pertumbuhan bakteri karena oksidasi lemak.

Kadar Keasaman (Asam Asetat)

Kadar asam merupakan salah satu faktor penting untuk menentukan tingkat kualitas asap cair sebagai bahan pengawet. Salah satu bagian terpenting dari gugus fungsi senyawa organik aalah asam asetat karena memiliki sifat keasaman yang menunjukkan semakin tingkata nilai kadar asam, maka semakin tinggi pula tingkat kualitas yang dimiliki oleh asap cair sebagai bahan pengawet pangan maupun non pangan. Asam asetat terbentuk

sebagian dari lignin. Kadar asam asetat asap cair yang dihasilkan dari tempurung kelapa lebih besar 7,3 % jika dibandingkan dengan tongkol jagung (1,3%).

Asam asetat ini tergolong senyawa asam yang mempengaruhi pH asap cair dan citarasa serta umur simpan produk asapan sekaligus mempunyai peranan sebagai anti bakter (Girard, 1992). Senyawa asam ini merupakan hasil pirolisis dari selulosa (Vivas, 2006).

Nilai pH Asap Cair

Nilai pH akan dilakukan pengukuran setelah melakukan proses pemisahan terhadap tar. Alat yang digunakan untuk mengukur pH menggunakan pH meter. Hasil pengukuran keasaman (pH) asap cair yang dihasilkan dari tempurung kelapa lebih kecil 1,41 dibandingkan dengan tongkol jagung (2,47).

Hal ini menunjukkan bahwa asap cair mengandung sifat asam. Sifat asam banyak terkandung di dalam asap cair yaitu salah satunya adalah asam asetat. Sifat asam mempengaruhi peroses pengawetan lebih lama. Selain asam asetat ada pula kandungan fenol di dalam asap cair. Senyawa fenol mengandung sifat asam sehingga turut berperan dalam proses oengawetan sehingga kandungan senyawa fenol mempengaruhi nilai pH dari asap cair karena fenol memiliki sifat asam yang dapat mempengaruhi cincin aromatisnya. Hasil perbandingan kadar asam asetat dan nilai pH dari ketiga asap cair dapat dilihat pada Tabel 1.

Pemanfaatan zeolit untuk menyerap benzo(a)pyrene

Zeolit mengalami dehidrasi apabila dipanaskan. Pada proses dehidrasi struktur kerangka zeolit akan menyusut, tetapi pada kerangka dasarnya tidak ada perubahan., karena molekul H_2O dikeluarkan secara reversibel. Hal ini karena pada struktur zeolit banyak memiliki rongga sehingga mampu untuk melakukan proses penyerapan yang memiliki ukuran molekul yang sesuai. Selektivitas dan efektivitas adsorpsinya tinggi.

Penggunaan zeolit aktif sebagai penyerap sangat efektif dalam menurunkan kandungan benzo(a)pyrene yang terdapat di dalam asap cair grade 1. Pada Tabel 1 menunjukkan bahwa penggunaan zeolit aktif sebagai penyerap pada hasil penelitian menunjukkan kandungan benzo(a)pyrene pada asap cair grade 1 setelah melewati proses filtrasi zeolit aktif tidak terdeteksi. Hal ini disebabkan pada proses aktivasi akan menyebabkan peningkatan pelepasan aluminium dari kerangka zeolit sehingga meningkatkan rasio Si/Al (Trisunaryanti, 1991).

Peningkatan adsorpsi pada molekul organik yang kurang polar disebabkan karena besarnya rasio Si/Al dan akan menyebabkan melemahnya interaksi antar air dengan molekul lain yang polar (Barrer, 1978). Proses aktivasi juga meningkatkan kristalinitas dan luas permukaan zeolit, dengan demikian kemampuan adsorpsinya akan makin besar. Asap cair yang dihasilkan harus aman dikonsumsi yaitu dengan tidak adanya kandungan hidrokarbon aromatik polisiklik didalam asap cair karena senyawa tersebut bersifat karsinogenik yang sangat berbahaya bagi kesehatan manusia.

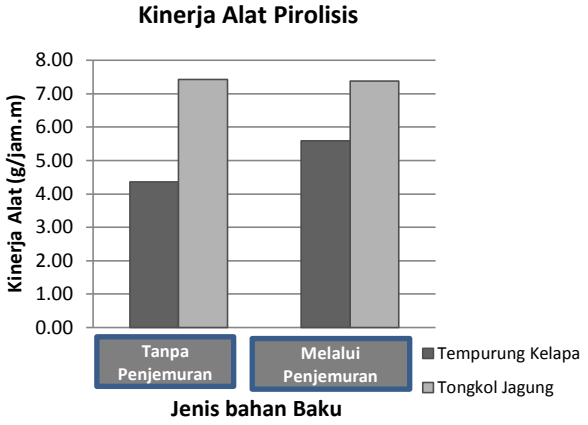
Untuk mengetahui keamanan produk diantara senyawa-senyawa PAH yaitu benzo(A)pyrene karena mempunyai sifat yang paling tinggi karsinogeniknya sehingga harus benar-benar terbebas dari kandungan benzo(A)pyrene. Di beberapa negara seperti Jerman telah menetapkan bahwa batas maksimum benzopyrene dalam produk adalah 1 ppb (Anonymous 2016). Keamanan produk harus tetap terjaga tetapi selain itu bahan pengawet harus memiliki flavor yang banyak disukai oleh konsumen. Pada senyawa tar dan benzo(a)pyrene dapat dihilangkan setelah sap cair melalui kolom filtrasi zeolit aktif karena zeolit memiliki bentuk struktur ynag berongga sebagai adsorben. Zeolit aktif akan terjebak di dalam rongga zeolit, disini zeolit mampu menyerap sejumlah besar molekul yang berukuran lebih kecil atau sesuai dengan ukuran rongganya.

Asap cair yang memiliki molekul lebih kecil dari rongga zeolit akan lolos sebagai asap cair yang bebas dari tar dan benzo

(a)pyrene. Zeolit akan mengikat tar dan benzo(a)pyrene karena hasil interaksi daro meluasnya medan listrik di dalam rtongga zeolit karena zeolit melepaskan molekul air dari dalam permukaan rongga.

Kinerja Alat Penghasil Asap Cair

Dengan kondensor sepanjang 0,84 m dan lama pirolisis antara 2,5 sampai 4 jam maka diperoleh besarnya kinerja alat dengan bahan baku tempurung kelapa pada keadaan basah dan kering adalah sebesar 4,37 g/(jam.m) dan 5,59 g/(jam.m), sedangkan tongkol jagung adalah sebesar 7,42 g/(jam.m) dan 7,37 g/(jam.m).



Grafik 4. Hasil Komponen yang Hilang dari Proses Pirolisis dalam kondisi tanpa penjemuran dan melalui proses penjemuran dari tempurung kelapa dan tongkol jagung

Kinerja alat ini sudah tinggi dengan menghasilkan asap cair dengan kadar fenol, kadar asam, nilai pH dan kadar benzo(a) pyrene yang baik (sesuai pembahasan pada masing-masing bagian diatas). Hasil kinerja alat pirolisis pembuatan asap cair dapat di lihat pada Grafik 4 di atas.

KESIMPULAN

Rendemen asap cair dari tempurung kelapa tanpa penjemuran dan melalui penjemuran adalah 36% dan 28,8% sedangkan dari tongkol jagung adalah 61,2% dan 30,4%. Arang sisa pembakaran dari tempurung kelapa 33% dan 50% sedangkan dari tongkol jagung adalah 16,7% dan 33,3%. Jumlah komponen yang hilang dari tempurung kelapa adalah 31% dan 21,2% sedangkan dari tongkol jagung adalah 22,1% dan 36,3%. Kinerja alat asap cair dari tempurung kelapa adalah 4,37 g/(jam.m) dan 5,59g/(jam.m) sedangkan dari tongkol jagung adalah 7,42 g/(jam.m) dan 7,37 g/(jam.m).

Kualitas asap cair yang dihasilkan untuk fenol dari tempurung kelapa dan tongkol jagung adalah 3,04 % dan 1,38 %. Kualitas kadar fenol tempurug kelapa dan tongkol jagung adalah 3,04% dan 1,38%; keasaman adalah 7,3 % dan 1,3 %. Nilai pH adalah 1,41 dan 2,47.Asap cair pada grade 1 pada tempurung dan tongkol jagung tidak terdeteksi adanya benzo(a)pyrene.

Daftar Pustaka

Anonymous. 2016. Polycyclic Aromatic Hydrocarbon. http://en.wikipedia.org/wiki/Polycyclic Aromatic Hydrocarbon. Tanggal akses 14 April 2016

Anonymous. 2016. benzopyrene. http://en.wikipedia.org/wiki/benzopyrene. Tanggal akses 14 April 2016

Barrer. R.M. 1978. Zeolites and Clay Minerals as Sorbents and Molekuler Sieves. Academic Press, London.

Aulia S.A. 2011. Kinerja dan Analisis Tekno-Ekonomi Alat Penghasil Asap Cair dengan Bahan Baku Limbah Pertanian. Program Pascasarjana Universitas Andalas. Padang

Anggraini SPA, dkk (2014). Pemanfaatan berbagai jenis limbah pertanian menjadi asap cair menggunakan proses pirolisis. Laporan akhir Penelitian Hibah Bersaing, Malang

Ernita Y. dkk, 2011. Rekayasa Alat Pembuat Asap Cair dengan Limbah Pertanian sebagai Bahan Baku. Prosiding Seminar Nasional. Politeknik Pertanian Negeri Payakumbuh-Sumatara Barat. 284 pp.

Girard, J.P.,1992, Smoking In: Technology of Meat and Meat Products, J.P Girard and I. Morton (ed) Ellis horword Limited, New York.

Miura, M. Biomassa Handbook, Japan Institute of Energy Ed. Ohm-sha, 2002, pp. 106-115

Sari R.N, dkk (2007).Uji coba alat penghasil asap cair skala laboratorium dengan bahan pengasap serbuk gergaji kayu jati sabrang atau sungkai. Jurnal Pascapanen dan Bioteknologi Kelautan dan Perikanan. Vol 2 No.1. pp.27-34

Trisunaryanti, Wega. 1991. Modifikasi, karakteristik dan Pemanfaatan Zeolit. Tesis-S2. Fakultas Pasca Sarjana UGM, Yogyakarta

Vivas, N., Absalon, C., Soulie, Ph., Fouquet, E., 2006, Pyrolysis-gas chromatography /mass spectrometry of Quercus sp.wood, J. of Anal. and App. Pyrol., 75: 181-193