

PIROLISIS LIMBAH PANGKAL BAMBU MENJADI KARBON AKTIF DAN ASAP CAIR MENGGUNAKAN ZAT AKTIVATOR ASAM PHOSFAT

Ani Purwanti¹, Sumarni², Ade Alvian A³

^{1,2,3}Teknik Kimia, Institut Sains & Teknologi AKPRIND Yogyakarta

Masuk: 6 Nopember 2016, revisi masuk: 9 Desember 2016, diterima: 5 Januari 2017

ABSTRACT

An inefficient utilization of bamboo resulted in bamboo base as waste without economical value. Converted this bamboo waste becomes active carbon through pyrolysis will add more value of the product. This study aims to determine the parameters which influence the pyrolysis of bamboo waste, to determine the activity of the obtained active carbon and liquid smoke yield. The preparation of raw material was conducted by cutting the bamboo into the size of an average length of 4.33 cm, 1.43 cm wide, and 0.48 cm high, also analyzed the water content. Pyrolysis was done for 60 minutes in the range of temperature between 250°C to 450°C. Activation methods varied by soaking in diluted phosphoric acid solution (6-14%) prior to pyrolysis with variations in dipping time and temperature pyrolysis. Yield and reactivity of obtained active carbon and also yield of liquid smoke were analyzed. With 100 gram of raw material, 60 minutes of reaction time, and activation for 24 hr resulted in an optimum yield of active carbon 27,43% with reactivity 433,99 mg/g under 12% of phosphoric acid solution at 450°C, and the yield of liquid smoke was 54 mL. GC-MS results showed that acetic acid (30,33%) as a major component, while 2-propanone (14,34%), methanol (10,37%), 2-butanone (3,75%), acetaldehyde (3,59%), furfural (2,95%), corylon (2,21%), cyclopropyl carbinol (2,11%), phenol (2,1%), glycol (1,85%), dan carbonic acid (1,28%) as a minor component.

Keywords : Bamboo base, Pyrolysis, Activated carbon, Liquid smoke, Phosphoric acid.

INTISARI

Pemanfaatan pohon bambu sering menyisakan pangkal bambu sebagai limbah yang tidak memiliki nilai ekonomi. Pembuatan karbon aktif dengan pirolisis merupakan salah satu alternatif pemanfaatan dari limbah tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari variabel-variabel yang berpengaruh pada proses pembuatan karbon aktif dari limbah pangkal bambu jenis petung dan mengetahui kualitas daya adsorpsi karbon aktif serta kandungan asap cair yang dihasilkan. Preparasi bahan baku dilakukan dengan beberapa tahapan, diantaranya adalah pembersihan, pemotongan bahan dengan ukuran rata-rata panjang 4,3 cm, lebar 1,4 cm, dan tebal 0,5 cm, serta analisis kadar air bahan awal. Pirolisis dilakukan pada kisaran variasi suhu 250oC sampai 450oC selama 60 menit. Aktivasi karbon hasil pirolisis dilakukan dengan melakukan perendaman di dalam larutan asam fosfat encer dengan variasi konsentrasi 6% sampai 14%. Persentase hasil karbon aktif, kadar air, keaktifan karbon aktif serta volume asap cair yang dihasilkan dianalisis. Hasil pirolisis dengan menggunakan bahan 100 g dan waktu pirolisis 60 menit, serta waktu perendaman 24 jam, diperoleh hasil terbaik pada konsentrasi asam fosfat 12% dan suhu 450°C; persentase hasil karbon 27,43% dan keaktifan sebesar 433,99 mg/g, serta volume hasil asap cair sebesar 54 mL. Dari hasil analisis GC-MS menunjukkan komponen terbesar adalah senyawa acetic acid (30,33%) dan komponen minornya berupa 2-propanone (14,34%), methanol (10,37%), 2-butanone (3,75%), acetaldehyde (3,59%), furfural (2,95%), corylon (2,21%), cyclopropyl carbinol (2,11%), phenol (2,1%), glycol (1,85%), dan carbonic acid (1,28%).

Kata Kunci: Limbah pangkal bambu, Pirolisis, Karbon aktif, Asam fosfat, Asap cair.

¹ ani4wanti@gmail.com

PENDAHULUAN

Di Indonesia terdapat beraneka ragam jenis industri yang berdampak pada munculnya berbagai permasalahan yang disebabkan oleh industri-industri tersebut mulai dari gas beracun; asap; bau busuk pada industri gas, serta berbagai limbah cair yang mengandung banyak polutan. Proses adsorpsi merupakan salah satu cara untuk mengatasi permasalahan-permasalahan tersebut di atas. Adsorpsi merupakan proses penyerapan suatu fluida baik berupa gas maupun cairan pada permukaan padatan sehingga membentuk suatu lapisan film di bagian permukaan padatan penyerap. Berbagai penelitian dilakukan untuk meningkatkan kemampuan efektifitas bahan penyerap (adsorben) yang potensial seperti karbon (arang) aktif terus dikembangkan.

Karbon aktif merupakan senyawa yang banyak digunakan sebagai penyerap, berupa bahan padat berpori (amorf) yang mengandung 89%-95% karbon dengan atom-atom karbon yang terikat secara kovalen dalam suatu kisi heksagonal datar dengan satu atom karbon pada setiap sudutnya. Karbon aktif dapat dihasilkan dari bahan-bahan yang mengandung senyawa karbon dengan pemanasan pada suhu tinggi (Chand dan Meenakshi, 2005). Penggunaan karbon aktif di Indonesia khususnya sebagai bahan penyerap (adsorben) sangat besar; namun kebutuhan karbon aktif tersebut sebagian besar masih mengimpor.

Pembuatan karbon aktif umumnya menggunakan bahan baku berupa bahan-bahan organik yang memiliki kandungan karbon yang tinggi seperti *olive-cake* (Aljundi dan Jarrah, 2008; Baccar dkk., 2009), ampas tebu, tempurung kelapa, sekam padi, bonggol jangung (Cao dkk., 2017), bambu (Fujishige dkk., 2017), kayu atau kapas maupun bahan organik lain yang memiliki kandungan selulosa yang tinggi (Figueiredo dkk., 2010). Ditinjau dari sumber alam yang ada di Indonesia sangatlah mungkin kebutuhan karbon aktif sebagai bahan penyerap dapat dipenuhi dari dalam negeri.

Bambu merupakan tumbuhan yang mudah dijumpai disekitar sungai atau di daerah pegunungan dan memiliki

banyak manfaat dalam berbagai kebutuhan manusia. Bambu memiliki lebih kurang 1000 spesies yang tumbuh dalam 80 negara, sekitar 200 spesies ditemukan di Asia Tenggara dan ekitar 100 jenis bambu ditemukan di Indonesia. Selain kelimpahan produksi biomassa yang mencapai sekitar 20 – 30 ton per hektar per tahun, bambu memiliki keunggulan sebagai sumber daya terbarukan yang dapat dipanen dalam kurun waktu 3-5 tahun (Kementerian Perdagangan RI, 2011).

Menurut Mahanim dkk., (2011) kandungan senyawa pada pangkal bambu memiliki kandungan holoselulose (63.04%), alpha-selulose (46.14%) dan lignin (16.12%). Berdasar komposisi tersebut, limbah pangkal bambu sangat potensial digunakan sebagai bahan baku karbon aktif.

Pirolisis merupakan salah satu proses pembuatan karbon aktif. Pirolisis adalah proses penguraian secara *thermo-chemical* dari senyawa organik menjadi senyawa lain berupa padatan, cairan, dan gas; yang di sebabkan oleh adanya pemanasan tanpa menggunakan oksigen pada suhu yang tinggi (Sulaiman, 2004).

Berdasarkan jenisnya, pirolisis dapat dibedakan menjadi dua, yaitu pirolisis primer dan pirolisis sekunder. Pirolisis primer merupakan proses pembentukan karbon yang terjadi pada suhu 150–300°C. Proses pengarangan tersebut terjadi karena adanya energi panas yang mendorong terjadinya peruraian senyawa hidrokarbon yang kompleks menjadi senyawa karbon (arang) aktif. Pirolisis sekunder adalah proses lanjutan perubahan karbon lebih lanjut menjadi gas hidrogen maupun gas-gas lainnya (Sa'diyah dan Juliastuti, 2015).

Faktor-faktor yang mempengaruhi pirolisis antara lain: suhu, ukuran butiran, kecepatan transfer/ perpindahan panas dan waktu tinggal gas hasil pirolisis. Suhu merupakan salah satu faktor yang sangat berpengaruh pada pirolisis, mengingat terjadinya proses perengkahan biomassa memerlukan energi panas.

Ukuran butiran yang cukup kecil mengakibatkan terjadinya perpindahan

panas berlangsung cepat dan merata keseluruhan bahan. Ukuran partikel semakin besar mengakibatkan proses pemanasan berlangsung lebih lambat. Kecepatan perpindahan panas yang tinggi diperlukan untuk menjamin ketersediaan kalor; makin besar kecepatan pemanasan hasil padatan maupun hasil cair yang diperoleh semakin optimal.

Daya serap karbon aktif sebagai adsorben ditentukan oleh luas permukaan partikel. Kemampuan daya serap adsorben dapat diperbesar dengan melakukan proses aktivasi menggunakan aktivator bahan-bahan kimia ataupun pemanasan pada suhu tinggi, sehingga diperoleh karbon dengan daya serap tinggi atau disebut sebagai karbon (arang) aktif. Luas permukaan karbon aktif berkisar 300-3500 m²/g. Proses aktivasi karbon merupakan suatu perlakuan terhadap senyawa karbon yang bertujuan untuk memperbesar pori-pori dengan cara memecah ikatan hidrokarbon sehingga daya adsorbs karbon mengalami peningkatan. Terdapat dua metode aktivasi karbon, yaitu aktivasi secara kimia (khemis) dan aktivasi secara fisika (fisis).

Proses aktivasi secara kimia dilakukan dengan perendaman bahan dalam suatu senyawa atau garam untuk meningkatkan keaktifan karbon. Bahan yang dapat digunakan sebagai bahan pengaktif, yaitu: CaCl₂, Ca(OH)₂, NaCl, MgCl₂, HNO₃, HCl, Ca₃(PO₄)₂, H₃PO₄, ZnCl₂, dan NaOH (Kirk and Othmer, 1964). Bahan kimia tersebut dapat meresap dan membuka permukaan bahan, sehingga luas permukaan akan bertambah dan keaktifan karbon dapat meningkat. Proses aktivasi secara fisika dapat dilakukan dengan mengalirkan gas pengaktif, yaitu uap air (H₂O) atau gas karbon dioksida (CO₂) terhadap karbon hasil karbonasi (Kirk dan Othmer, 1964).

Menurut Standard Nasional Indonesia (SNI) 06-3730-1995 persyaratan karbon aktif tercantum pada Tabel 1.1.

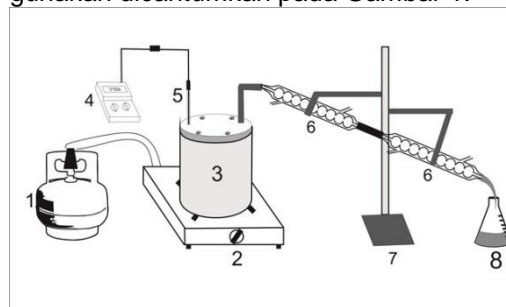
Penelitian ini difokuskan untuk mempelajari pengaruh variasi konsentrasi larutan asam fosfat sebagai aktivator, suhu pirolisis maupun lama perendaman terhadap hasil karbon aktif (%) dan keefektifan hasil karbon (mg/g), serta banyaknya asap cair dari poses pirolisis

dengan bahan baku limbah pangkal bambu. Limbah pangkal bambu jenis petung diperoleh dari hasil lokal di dusun Serut, Desa Ponjong, Gunungkidul.

Tabel 1.1 Standar Nasional Indonesia

No	Jenis Uji	Persyaratan (butiran)
1	Kadar air	Maks. 4.5%
2	Kadar abu	Maks. 2,5%
3	Bagian yang hilang pada pemanasan 950°C	Maks. 15 %
4	Bagian yang tidak mengarang	0%
5	Daya serap larutan terhadap I ₂	Min. 750 mg/g
6	Karbon aktif murni	Min. 80 %
7	Daya serap terhadap benzene	Min. 25%
8	Kekerasan	80%

Bahan baku yang digunakan dalam penelitian adalah limbah pangkal bambu. Rangkaian alat pirolisis yang digunakan dicantumkan pada Gambar 1.



Keterangan: 1. Tabung gas
2. Kompor gas
3. Bejana
4. Termokopel
5. Rangkaian penghubung
6. Pendingin
7. Statip
8. Erlenmeyer

Gambar 1. Rangkaian Alat Pirolisis

Pelaksanaan penelitian yang dilakukan meliputi proses persiapan bahan, pirolisis, aktivasi hasil karbon, serta analisa bahan baku maupun analisa hasil pirolisis.

Limbah pangkal bambu sebagai bahan utaman, setelah dibersihkan dari pengotornya lalu selanjutnya dipotong-potong dengan ukuran rata-rata panjang 4,33 cm, lebar 1,43 cm, dan tebal 0,48

cm; kemudian diambil (secara acak) untuk analisis kadar air dan kadar abu.

Pangkal bambu dengan kadar air tertentu dimasukkan ke dalam tabung (silinder) untuk proses pirolisis. Proses pirolisis terjadi ditandai dengan semburan gas yang keluar dan berakhir disaat semburan gas tersebut sudah habis. Asap yang melewati pendingin balik ditampung untuk mendapatkan asap cair. Selanjutnya tabung didinginkan dengan cara dibenamkan dalam pasir. Setelah dingin, arang aktif bisa diambil dan selanjutnya dilakukan analisis kadar air karbon aktif serta hasil karbon aktif.

Karbon hasil pirolisis yang telah diketahui kadar airnya lalu direndam di dalam zat pengaktif H_3PO_4 dengan variasi konsentrasi. Setelah mengalami perendaman, hasil pirolisis ditiriskan dan dijemur dibawah sinar matahari selama 1 hari serta dilanjutkan analisis kadar air dan keaktifannya.

Analisa bahan meliputi analisis bahan baku (kadar air dan kadar abu), analisis karbon hasil pirolisis (berat karbon, kadar air dan keaktifan karbon hasil, serta analisis volum dan komposisi asap cair dengan metoda GC-MS).

Untuk menganalisa kadar air, sejumlah gram bahan (sampel) diambil kemudian dikeringkan menggunakan oven selama 2 jam pada suhu $110^{\circ}C$, kemudian dimasukkan ke dalam desikator selama 30 menit, selanjutnya ditimbang. Sampel dipanaskan lagi dalam oven selama 30 menit lalu dimasukkan dalam desikator dan ditimbang. Perlakuan ini dilakukan berulang-ulang hingga diperoleh berat konstan. Kadar air sampel dihitung berdasar berat bahan awal dikurangi berat bahan kering dibagi berat bahan awal.

Sedangkan untuk menganalisa kadar abu dengan cara: bahan baku diambil beberapa gram, lalu dipanaskan dalam alat muffle furnace pada suhu $600^{\circ}C$ selama 3 jam kemudian alat dimatikan tunggu hingga dingin dan timbang hasil abu. Kadar abu dinyatakan sebagai berat abu dibagi berat bahan awal.

Karbon hasil pirolisis ditimbang untuk mengetahui beratnya. Persentase hasil karbon dinyatakan sebagai berat

karbon bebas air dibagi berat bahan baku bebas air.

Karbon aktif diambil 0,5 gram selanjutnya dihaluskan, kemudian ditambahkan 25 mL larutan iodin dan diaduk selama 15 menit, kemudian disaring dengan kertas saring dan selanjutnya dititrasikan dengan larutan natrium tiosulfat serta ditambahkan indikator amilum. Catat volume natrium tiosulfat yang terpakai (volume sampel).

$$\text{Keaktifan karbon aktif} = \frac{(B - A) \cdot N \cdot 126,9}{\text{berat bahan mula} - \text{mula}} \times 100\% \dots (1)$$

dengan: A = volume Sampel (mL)
B = volume blanko (mL)
N = normalitas larutan

PEMBAHASAN

Penelitian diawali dengan proses pirolisis menggunakan lima sampel yang sama dengan berat sampel rata-rata 100,09 gram, kadar air rata-rata 5,91% dan suhu pirolisis $350^{\circ}C$. Berat karbon dan volume asap cair yang dihasilkan tercantum pada Tabel 2.

Tabel 2. Perbandingan hasil karbon dan asap cair (suhu pirolisis $350^{\circ}C$)

No	Berat sampel (g)	Kadar air (%)	Hasil karbon (%)	Hasil asap cair (mL)
1	100,11	6,193	28,537	48
2	100,06	5,676	28,830	45
3	100,12	5,643	29,152	43
4	100,04	6,387	28,446	51
5	100,11	5,663	28,886	44

Dari Tabel 2 terlihat bahwa hasil karbon maupun asap cair menunjukkan nilai yang hampir sama (cukup stabil); pirolisis menggunakan sampel dengan berat rata-rata 100,09 g dan kadar air 5,91% diperoleh hasil karbon rata-rata 28,77% dan asap cair 46,2 mL. Berdasar hasil penelitian pendahuluan seperti tercantum pada Tabel 2 di atas, selanjutnya masing-masing sampel dilakukan proses aktivasi dengan cara merendam karbon yang dihasilkan dengan cara memvariasikan konsentrasi larutan asam fosfat sebagai zat aktivator.

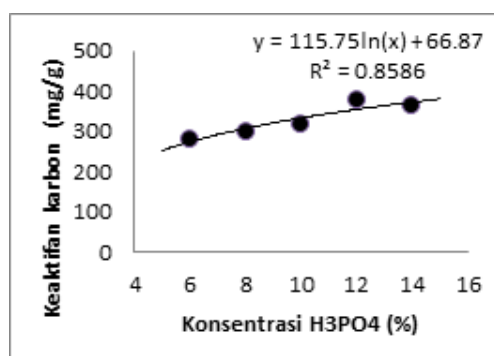
Limbah pangkal bambu (bahan baku) dengan berat rata-rata 100,09 gram dan kadar air rata-rata 5,91% selanjutnya dimasukkan ke dalam bejana

(silinder) untuk dilakukan pirolisis dengan waktu 60 menit dan suhu 350°C. Karbon hasil pirolisis selanjutnya direndam selama 24 jam di dalam zat aktivator berupa larutan asam fosfat encer dengan konsentrasi yang divariasikan (6%, 8%, 10%, 12%, dan 14%) kemudian ditiriskan dan dikeringkan. Berat karbon aktif dan volume asap cair yang dihasilkan sesuai pada percobaan pendahuluan, serta keaktifan karbon pada variasi konsentrasi larutan asam fosfat dinyatakan pada Tabel 3.

Tabel 3. Pengaruh konsentrasi asam terhadap keaktifan karbon aktif

No	Konsentrasi (%)	Hasil karbon (%)	Keaktifan karbon (mg/g)	Hasil asap (mL)
1	6	28,537	281,718	48
2	8	28,830	299,484	45
3	10	29,152	317,250	43
4	12	28,446	378,162	51
5	14	28,886	365,472	54

Dari Tabel 3 terlihat, bahwa karbon hasil pirolisis dari lima sampel dengan kondisi yang sama (suhu 350°C dan waktu 60 menit) setelah dilakukan aktivasi dengan konsentrasi asam fosfat yang divariasikan, menunjukkan makin tinggi konsentrasinya menghasilkan keaktifan karbon makin besar; diperoleh kondisi yang relatif baik pada konsentrasi 12%. Grafik hubungan antara konsentrasi asam dan keaktifan karbon terlihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Grafik hubungan antara konsentrasi asam keaktifan karbon

Berdasar Gambar 2 terlihat, bahwa konsentrasi larutan H₃PO₄ berpe-

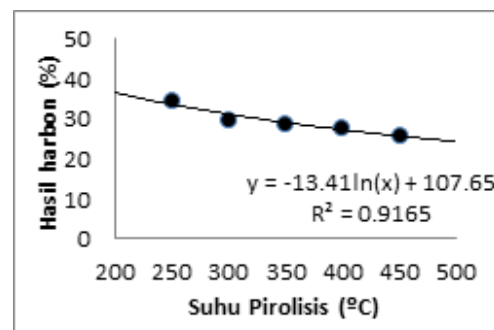
ngaruh terhadap keaktifan hasil karbon. Semakin tinggi konsentrasi H₃PO₄ keaktifan karbon relatif makin besar. Hal ini disebabkan semakin tinggi konsentrasi H₃PO₄, proses aktivasi berlangsung lebih baik karena zat aktivator semakin reaktif. Pada konsentrasi 12% keaktifan karbon mencapai titik tertinggi dengan nilai keaktifan 378,162 mg/g dan 14% keaktifan karbon aktif turun.

Pengaruh suhu pirolisis dilakukan menggunakan bahan baku dengan berat dan kadar air tertentu; pirolisis dengan variasi suhu 250°C, 300°C, 350°C, 400°C, dan 450°C selama 60 menit. Karbon hasil pirolisis selanjutnya dilakukan aktivasi menggunakan larutan asam fosfat 12% dengan waktu perendaman selama 24 jam. Hasil karbon, volume asap cair, dan keaktifan karbon tercantum pada Tabel 4.

Tabel 4. Pengaruh suhu pirolisis terhadap hasil karbon dan keaktifan karbon.

No	Suhu (°C)	Hasil karbon (%)	Hasil asap (mL)	Keaktifan karbon (mg/g)
1	250	34,66	35	357,86
2	300	29,82	44	365,72
3	350	28,59	48	375,62
4	400	27,83	51	393,39
5	450	27,43	54	433,99

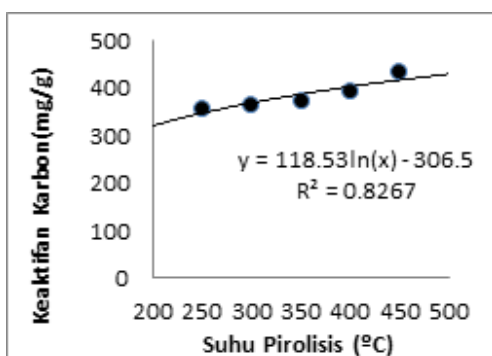
Grafik hubungan antara suhu pirolisis dengan hasil karbon tersaji pada Gambar 3, terlihat, bahwa suhu pirolisis berpengaruh terhadap hasil karbon dan keaktifannya. Semakin tinggi suhu pirolisis, hasil karbon yang diperoleh semakin kecil.



Gambar 3. Grafik hubungan antara suhu pirolisis (°C) dan hasil karbon (gr)

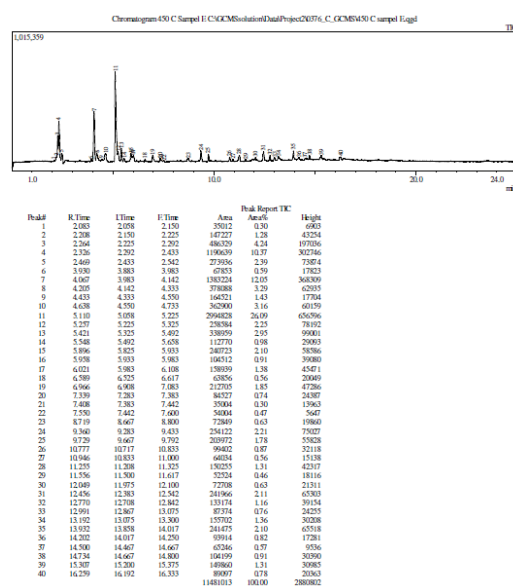
Dari Tabel.4 juga dapat dilukiskan grafik hubungan antara suhu pirolisis

dengan keaktifan karbon seperti terlihat pada Gambar 4, dimana, semakin tinggi suhu keaktifan karbon relatif semakin besar. Semakin tinggi suhu perpindahan panas pada bahan lebih cepat sehingga karbon yang dihasilkan lebih mudah diaktifkan. Hal tersebut terlihat pada pirolisis dengan suhu 450°C keaktifan arang mencapai titik tertinggi dengan nilai 433,99 mg/g.



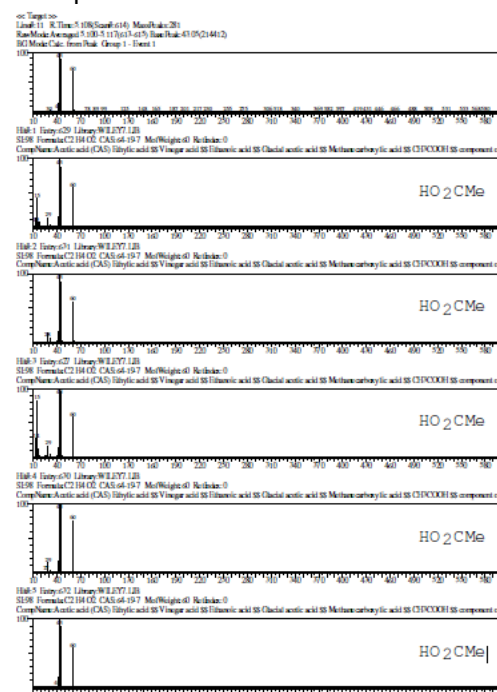
Gambar 4. Grafik hubungan antara suhu pirolisis (°C) dan keaktifan karbon (mg/g).

Asap cair yang dihasilkan dari proses pembuatan karbon arang aktif kemudian dianalisa untuk mengetahui jenis senyawa yang ada. Analisa asap cair hasil pirolisis dilakukan dengan metoda GC-MS. Kandungan senyawa dalam asap cair hasil pirolisis pada suhu 450°C tercantum pada Gambar 5 dan Gambar 6.



Gambar 5. Hasil analisa GC asap cair

Untuk analisa MS, didapatkan puncak tertinggi pada line 11, berikut ini hasil pada line 11.



Gambar 6. Hasil analisa MS-Line 11 asap cair

Analisa asap cair hasil pirolisis pada suhu 450°C dengan GC-MS terdapat 40 titik puncak dengan titik puncak tertinggi berada pada line 11. Senyawa yang terkandung sebagian besar berupa acetic acid (30,33%), 2-propanone (14,34%), methanol (10,37%), 2-butano- (3,75%), acetaldehyde (3,59%), furfural (2,95%), corylon (2,21%), cyclopropyl carbinol (2,11%), phenol (2,1%), glycol (1,85%), dan carbonic acid (1,28%).

KESIMPULAN

Limbah pangkal bambu dapat digunakan sebagai bahan arang aktif. Konsentrasi zat aktivator dan suhu pirolisis mempengaruhi hasil keaktifan karbon. Semakin besar konsentrasi zat aktivator dan makin tinggi suhu pirolisis, keaktifan karbon aktif semakin tinggi.

Pirolisis dengan variasi konsentrasi larutan asam fosfat dengan waktu perendaman 24 jam, suhu 350°C dan waktu pirolisis 60 menit, diperoleh hasil yang terbaik pada konsentrasi H₃PO₄ 12% dengan keaktifan karbon sebesar

378,162 mg/g, persentase hasil karbon aktif 28,89%, dan volume asap cair sebesar 51 mL dari bahan baku 100 g.

Pada variasi suhu pirolisis dengan bahan baku 100g, waktu 60 menit, konsentrasi asam fosfat 12%, dan waktu perendaman 24 jam, diperoleh hasil terbaik pada suhu 450°C dengan keaktifan hasil karbon 433,99 mg/g, persentase karbon 27,43%, dan volume asap cair 54 mL.

Kandungan asap cair hasil pirolisis pada suhu 450°C, diperoleh 40 puncak dengan puncak tertinggi berada pada line 11. Dari hasil analisis GC-MS menunjukkan komponen terbesar adalah senyawa acetic acid (30,33%) dan komponen minornya berupa 2-propanone (14,34%), methanol (10,37%), 2-butanone (3,75%), acetaldehyde (3,59%), furfural (2,95%), corylon (2,21%), cyclopropyl carbinol (2,11%), phenol (2,1%), glycol (1,85%), dan carbonic acid (1,28%).

DAFTAR PUSTAKA

- Aljundi, I. H., dan Jarrah, N., 2008, A study of characteristics of activated carbon produced from Jordanian olive-cake. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 81(1), 33-36.
- Baccar, R., Bouzid, J., Feki, M., dan Montiel, A., 2009, Preparation of activated carbon from Tunisian olive-waste cakes and its application for adsorption of heavy metal ions. *Journal of Hazardous Materials*, 162(2), 1522-1529.
- Cao, Y., Wang, K., Wang, X., Gu, Z., Ambrico, T., Gibbons, W., dan Talukder, A. A., 2017, Preparation of active carbons from corn stalk for butanol vapor adsorption, *Journal of Energy Chemistry*, 26(1), 35-41.
- Chand, B.R. dan Meenakshi, G., 2005, *Activated Carbon Adsorption*, Taylor and Francis Group, New York.
- Figueiredo, J. A., Ismael, M. I., Anjo, C. M. S., dan Duarte, A. P., 2010, Cellulose and derivatives from wood and fibers as renewable sources of raw-materials. *In Carbohydrates in Sustainable Development I*, hal. 117-128, Springer Berlin Heidelberg.
- Fujishige, M., Yoshida, I., Toya, Y., Bamba, Y., Oshida, K. I., Tanaka, Y. S., dan Takeuchi, K., 2017, Preparation of activated carbon from Bamboo-cellulose fiber and its use for EDLC electrode material. *Journal of Environmental Chemical Engineering*.
- Kementerian Perdagangan RI, 2011, Menggali Peluang Ekspor untuk Produk dari Bambu, Warta Ekspor, DJPEN/ MJL/002/12/2011 Edisi Desember, Kementerian Perdagangan RI.
- Kirk, R.E. dan Othmer, D.F., 1964, *Encyclopedia of chemical technology*, 2 edition vol. IV, John Wiley Sons, Inc., New York-London-Sydney.
- Mahanim, S. M. A., Asma, I. W., Rafidah, J., Puad, E., dan Shaharuddin, H., 2011, Production of activated carbon from Industrial Bamboo Wastes, *Journal of Tropical Forest Science*, 417-424.
- Sa'diyah, K. dan Juliastuti, S. R., 2015, Pengaruh Jumlah Katalis Zeolit Alam pada Produk Proses Pirolisis Limbah Plastik Polipropilen. *Jurnal Teknik Kimia*, Politeknik Negeri Malang. Malang.
- Sulaiman, S., 2004, *Penjernihan Asap Cair Hasil Pirolisis Tempurung Kelapa Menggunakan Kolom Kromatografi dengan Zeolit Alam Teraktivasi sebagai Fasa Diam*, Skripsi, FMIPA, UGM, Yogyakarta.