

PENGARUH WAKTU DAN SUHU PEMBUATAN KARBON AKTIF DARI ECENG GONDOK (*EICHHORNIA CRASSIPES*) SEBAGAI UPAYA PEMANFAATAN LIMBAH DENGAN SUHU TINGGI SECARA PIROLISIS

Arief Henry Kurniawan^{1*}, Rita Dwi Ratnani¹, Suwardiyono¹, dan Imam Syafa'at²

¹Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Wahid Hasyim Semarang

²Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Wahid Hasyim Semarang

Jl. Menoreh Tengah X/22, Sampangan, Semarang 50236

*Email : ariefhenryk@gmail.com

Abstrak

Eceng gondok merupakan gulma yang cukup berlimpah di Indonesia dan dianggap sebagai masalah. Solusi yang dapat diterapkan untuk mengatasi gulma akibat pertumbuhan eceng gondok yang sangat cepat ini adalah menjadikannya sebagai karbon aktif. Karbon aktif banyak digunakan sebagai adsorben didalam industri. Penelitian ini bertujuan untuk

(1) membuat karbon aktif dari pemanfaatan eceng gondok secara pirolisis dengan tanpa menambahkan bahan pengaktif, (2) mengetahui pengaruh variabel waktu dan suhu pirolisis terhadap mutu karbon aktif tersebut sesuai dengan SII No. 0258-79 dan SNI 06-3730-1995, (3) Mengetahui kadar karbon pada karbon aktif eceng gondok melalui uji EDX, (4) Mengetahui diameter pori karbon aktif eceng gondok melalui uji SEM, (5) Mengetahui derajat kristalinitas karbon aktif eceng gondok melalui uji XRD. Metode yang digunakan adalah dengan suhu tinggi secara pirolisis. Tahap preparasi eceng gondok, pirolisis, uji kualitas karbon aktif. Proses pirolisis dilakukan dengan variasi waktu 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 jam, variasi suhu 200,300,400,500 °C. Hasil pirolisis terbaik didapatkan pada waktu 2 jam dan suhu 500 °C, yaitu daya serap iodine 259,26 mg/g, kadar air 7,52 %, kadar zat mudah menguap 41,94 %, kadar abu 4,3 %, kadar karbon terikat 53,76 %. Sesuai hasil uji EDS penyusun komponen kimia karbon aktif tertinggi adalah karbon (C) sebesar 85%. Diameter pori karbon aktif rata-rata sebesar 18, 6 mikrometer. Derajat kristalinitas karbon aktif eceng gondok sebesar 64,205%.

Kata kunci: karbon aktif, pirolisis, eceng gondok

1. PENDAHULUAN

Eceng gondok merupakan tumbuhan air yang dapat tumbuh dengan cepat (3% per hari) di rawa – rawa, danau, waduk, dan sungai yang alirannya tenang (Fajar Utomo,2013). Pesatnya pertumbuhan eceng gondok ini dapat mengganggu aktivitas di perairan, serta mengakibatkan penyempitan dan pendangkalan pada sungai, rawa, maupun danau.

Solusi yang dapat diterapkan pada kasus limbah eceng gondok ini adalah menjadikannya sebagai karbon aktif. Industri pembuatan karbon aktif di Indonesia telah mengalami kemajuan cukup pesat. Hal ini disebabkan oleh semakin meningkatnya permintaan pasar, baik di dalam negeri maupun untuk diekspor ke luar negeri. Hampir 70% produk karbon aktif digunakan untuk pemurnian dalam sektor minyak kelapa, farmasi dan kimia (G.Pari dan I.Sailah, 2001 dalam Pambayun, dkk 2013). Karbon aktif dapat dipergunakan untuk berbagai industri, antara lain yaitu industri obat – obatan, makanan, minuman, pengolahan air (penjernihan air), dan lain – lain. Melihat dari kegunaan karbon aktif tersebut, perlu adanya

pengujian terhadap mutu karbon aktif supaya dapat berfungsi sebagaimana mestinya. Menurut SII No. 0258-79 dan SNI 06-3730-1995, karbon aktif yang baik mempunyai persyaratan yang tercantum pada Tabel 1:

Tabel 1. Persyaratan Karbon Aktif

Jenis	SII No. 0258-79	SNI 06-3730-1995
Bagian yang hilang pada pemanasan 950 °C	Maks. 15%	Maks. 15%
Kadar air	Maks. 10%	Maks. 15%
Kadar abu	Maks. 2,5%	Maks. 10%
Bagian yang tidak diperarang	Tidak nyata	Tidak nyata
Daya serap terhadap larutan I ₂	Minimal 20% (200 mg/g)	Minimal 75% (750 mg/g)

Pembuatan karbon aktif dapat dilakukan secara pirolisis. Pirolisis secara singkatnya dapat diartikan sebagai pembakaran tanpa

berhubungan dengan udara luar. Pirolisis pada umumnya diawali pada suhu 200 °C dan bertahan pada suhu sekitar 450°C – 500 °C (Sheth and Babu, 2006 dalam Danarto, dkk 2010). Pirolisis suatu biomassa akan menghasilkan tiga macam produk, yaitu produk gas, cair, dan padat (*char*) (Danarto, dkk 2010).

Tujuan penelitian ini adalah untuk membuat karbon aktif dari pemanfaatan eceng gondok dengan proses suhu tinggi secara pirolisis. Penelitian ini diharapkan dapat menghindari pemakaian aktivasi dengan bahan kimia yang harganya cukup mahal dan kurang baik di lingkungan, serta untuk mengetahui pengaruh variabel waktu dan suhu pirolisis karbon aktif dari eceng gondok.

2. METODOLOGI

2.1. Bahan Penelitian

Bahan – bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah eceng gondok, natrium tiosulfat ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$), kalium iodide (KI), indikator amilum, dan aquadest.

2.2. Peralatan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah tangki pirolisis, pendingin leibig, adaptor, dan erlenmeyer. Untuk analisa uji kualitas karbon aktif, alat yang digunakan adalah buret, thermometer infrared, pengaduk, corong, labu ukur, gelas beaker, kertas saring dan statif.

2.3. Prosedur Percobaan

2.3.1. Persiapan Bahan Baku

Eceng gondok dibersihkan dari kotorannya, kemudian dikecilkan ukurannya dan dikeringkan dibawah sinar matahari.

2.3.2. Tahapan Pirolisis

Eceng gondok yang telah kering dimasukkan ke dalam tangki pirolisis. Tangki pirolisis kemudian dirangkai dengan pendingin leibig dan Erlenmeyer sebagai penampung asap cair. Alirkan air pendingin, kemudian nyalakan api. Eceng Gondok dipirolisis dengan variasi waktu 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 jam dan variasi suhu 200, 300, 400 dan 500 °C.

2.3.3. Analisa Kualitas Karbon Aktif

Analisa kualitas karbon aktif penelitian ini meliputi analisa kadar air, kadar zat menguap, kadar abu, kadar karbon terikat, dan daya serap terhadap larutan iodine, Uji SEM, EDX dan XRD.

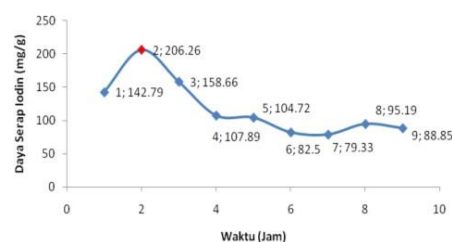
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Waktu Terbaik Proses Pirolisis

Pengaruh waktu pirolisis terhadap analisa mutu karbon aktif eceng gondok disajikan dalam Gambar 1 sampai Gambar 4, serta Tabel 2.

Pengaruh Waktu Terhadap Daya Serap Larutan Iodin

Gambar 1 menyajikan pengaruh waktu terhadap daya serap terhadap larutan iodine.

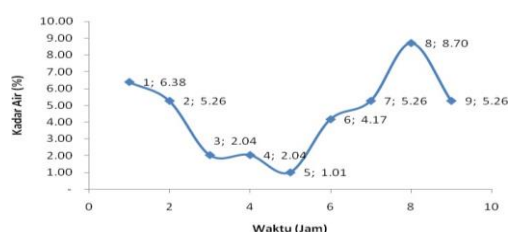


Gambar 1. Pengaruh Waktu Pirolisis Terhadap Daya Serap Iodin

Gambar 1 menunjukkan bahwa pembuatan karbon aktif dengan metode pirolisis mempunyai daya serap terhadap iodine tertinggi pada waktu pirolisis 2 jam dengan angka iod sebesar 206,26 mg/g. Pada waktu berikutnya daya serap terhadap iodine cenderung menurun hanya di beberapa titik yang mengalami sedikit kenaikan. Penurunan ini disebabkan saat proses pirolisis, energy panas mendorong terjadinya reaksi oksidasi. Oleh karena itu, semakin lama waktu proses tersebut maka zat volatil dan karbon akan semakin berkurang dan meninggalkan residu yang semakin banyak. Tingginya residu ini akan mengurangi kemampuan adsorpsi karbon aktif terhadap iodine (Ikawati dan Melati, 2009). Hasil pirolisis dalam penelitian ini sudah memenuhi SII No.0258-79 dengan batas minimal 20% (200 mg/gr).

Pengaruh Waktu Terhadap Kadar Air Karbon Aktif

Hasil pengujian kadar air karbon aktif variasi waktu disajikan dalam gambar 2.



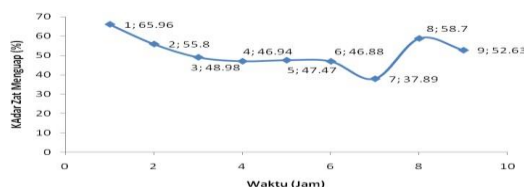
Gambar 2. Pengaruh Waktu Terhadap Kadar Air Karbon Aktif

Pada Gambar 2. menunjukkan bahwa semakin lama pirolisis maka kadar air akan semakin menurun. Namun pada variabel waktu 6 jam kadar air kembali meningkat hingga variabel waktu 8 jam. Kemudian pada variabel waktu ke 9 jam kadar air kembali menurun. Hasil penelitian ini juga pernah diperoleh Satriyani Siahaan dkk (2013) yang dilakukan pada karbon dari sekam padi, selain itu hasil penelitian seperti ini juga pernah diperoleh Hartanto dan Ratnawati (2010) yang dilakukan pada tempurung kelapa sawit.

Hal ini disebabkan karena semakin lama waktu pirolisis, maka pori – pori dari karbon aktif akan makin terbuka, sehingga pada saat pemindahan karbon aktif dari oven ke desikator dan alat penimbangan terjadi kontak langsung antara karbon aktif yang bersifat higroskopis dengan udara sehingga karbon aktif banyak menyerap uap air (Hartanto dan Ratnawati, 2010). Walaupun kadar air meningkat di beberapa titik, hasil penelitian ini menunjukkan kadar air maksimal yang diperoleh adalah 8,70%, sehingga karbon aktif penelitian ini memenuhi standar SII No.0258-79, yaitu dengan batas maksimal 10%.

Pengaruh Waktu Pirolisis Terhadap Kadar Zat Menguap

Pengaruh waktu terhadap kadar zat menguap disajikan dalam Gambar 3.



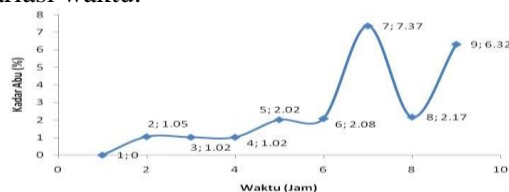
Gambar 3. Pengaruh Waktu Pirolisis Terhadap Kadar Zat Menguap

Gambar 3. menunjukkan pengaruh waktu pirolisis karbon aktif eceng gondok terhadap kadar zat menguap. Grafik tersebut menunjukkan bahwa semakin lama waktu pirolisis maka kadar zat menguapnya akan semakin menurun. Hanya di variabel waktu 8 jam yang mengalami peningkatan. Hasil penelitian seperti ini juga pernah didapatkan oleh Wibowo dkk, (2009) yang dilakukan pada tempurung biji nyamplung, serta penelitian Siahaan dkk (2013) yang dilakukan pada sekam padi. Kadar zat terbang (zat mudah menguap) yang tinggi menunjukkan bahwa permukaan karbon aktif mengandung zat terbang yang berasal dari hasil interaksi antara

karbon dengan uap air (Pari, 2004 dalam Wibowo dkk, 2009). Hal tersebut dapat mengurangi daya serapnya terhadap gas atau larutan. Kadar zat mudah menguap pada karbon aktif variabel waktu penelitian ini tidak ada yang memenuhi SII No.0258-79 yaitu maksimal 15%.

Pengaruh Waktu Pirolisis Terhadap Kadar Abu

Gambar 4 menyajikan pengaruh waktu terhadap kadar abu pada hasil karbon aktif variasi waktu.



Gambar 4. Pengaruh Waktu Terhadap Kadar Abu

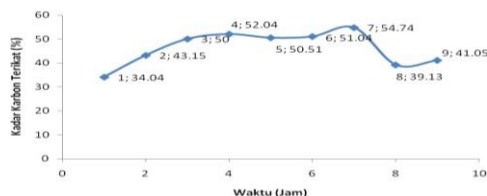
Gambar 4. menunjukkan grafik pengaruh waktu terhadap kadar abu dalam karbon aktif eceng gondok. Abu merupakan oksida oksida logam yang tidak dapat menguap pada saat proses karbonasi. Kandungan abu dalam karbon aktif dapat mempengaruhi kualitas karbon aktif (Scroder E, 2006). Semakin lama proses karbonasi, maka kadar abu yang dihasilkan juga semakin meningkat. Hal ini dikarenakan semakin lama proses karbonasi berarti semakin lama pula proses gasifikasi karbon yang memicu penghilangan dan teroksidasinya zat volatile beserta karbon (Ikatawati dan Melati, 2009).

Grafik hasil penelitian ini sesuai dengan teori yang dikemukakan. Dari grafik tersebut menunjukkan semakin lama proses karbonasi kadar abu cenderung semakin meningkat. Hanya di beberapa titik saja yang mengalami penurunan. Hasil perhitungan kadar abu penelitian ini ada beberapa yang tidak sesuai dengan SII No.0258-79, yaitu pada variabel waktu karbonasi 7 jam dan 9 jam yang kadar abunya melebihi batas kadar abu maksimum 2,5%. Selain variabel waktu tersebut sudah memenuhi SII No.0258-79 dengan kadar abu dibawah 2,5%, yaitu berkisar antara 0 – 2,18%.

Pengaruh Waktu Pirolisis Terhadap Kadar Karbon Terikat

Karbon terikat adalah kandungan karbon dalam karbon aktif yang dihasilkan. Pengaruh

waktu terhadap kadar karbon terikat dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Pengaruh Waktu Terhadap Kadar Karbon Terikat

Penentuan kadar karbon terikat pada karbon aktif bertujuan untuk mengetahui kandungan karbon setelah proses pirolisis. Menurut Perrich (1981), besar kecilnya kadar karbon terikat bergantung pada besarnya kadar abu dan kadar zat menguap karbon aktif (Rini dan J.P Gentur, 2005). Semakin lama waktu pirolisis maka semakin besar kadar karbon yang terbentuk. Gambar 4.5. menunjukkan pengaruh waktu terhadap kadar karbon terikat karbon aktif eceng gondok.

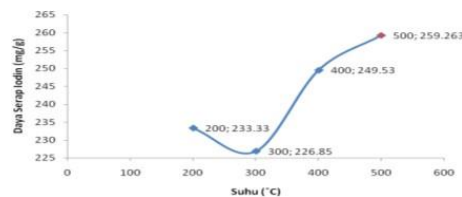
Dari grafik tersebut menunjukkan kadar karbon cenderung semakin meningkat. Hanya pada beberapa waktu mengalami penurunan. Hal ini disebabkan karena semakin lamanya proses pirolisis akan merusak pelat – pelat karbon, karena terjadi proses oksidasi yang berlebihan (Hartoyo dan Nurhayati, 1976 dalam Siahaan dkk, 2013). Hasil kadar karbon terikat yang didapatkan pada penelitian ini tidak memenuhi SNI 06-3730-1995, karena kurang dari 65%. Sesuai hasil penelitian diatas, angka iod, kadar air, kadar abu, memenuhi standar SII No.0258-79 sehingga ditentukan untuk waktu optimum pirolisis eceng gondok yaitu 2 jam.

3.2.Suhu Terbaik Proses Pirolisis

Pada variabel suhu digunakan waktu pirolisis 2 jam. Pengaruh suhu pirolisis terhadap uji mutu karbon aktif disajikan dalam Gambar 6 sampai Gambar 9.

Pengaruh Suhu Pirolisis Terhadap Daya Serap Iodin

Pengaruh suhu pirolisis karbon aktif terhadap daya serap larutan iodine terlihat pada Gambar 6.

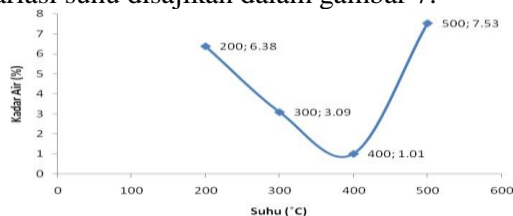


Gambar 6. Pengaruh Suhu Terhadap Daya Serap Iodin

Gambar 4.6. menunjukkan bahwa pembuatan karbon aktif dengan metode pirolisis mempunyai daya serap terhadap iodine tertinggi pada suhu pirolisis 500°C dengan daya serap iodine 259,26 mg/g. Namun pada suhu 200° C mengalami penurunan. Pada penelitian ini daya serap karbon aktif cenderung meningkat hingga suhu 500°C. Peningkatan suhu akan memperluas permukaan pori karbon aktif. Semakin luas pori pori yang terdapat di karbon aktif, maka semakin besar kemampuan adsorpsi karbon aktif (S.Jamilatun dan Martono S, 2014). Hasil penelitian ini sudah memenuhi SII No.0258-79 dengan batas minimal 20% (200 mg/gr) (Ikawati dan Melati, 2009).

Pengaruh Suhu Terhadap Kadar Air

Hasil pengujian kadar air karbon aktif variasi suhu disajikan dalam gambar 7.

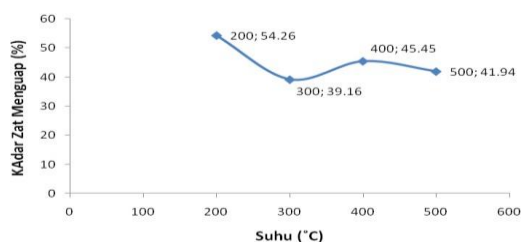


Gambar 7. Pengaruh Suhu Terhadap Kadar Air

Gambar 7. menunjukkan grafik hasil pengujian kadar air karbon aktif eceng gondok. Hasil tersebut menunjukkan bahwa semakin tinggi suhu, kadar air semakin menurun. Dikarenakan semakin tinggi suhu, kadar air dalam karbon aktif semakin banyak yang teruapkan. Namun pada suhu 500°C kadar air kembali meningkat. Hal ini bisa disebabkan karena biasanya tar dan zat volatile (termasuk air) masih ada setelah dilakukan proses pirolisis, hanya saja jumlahnya berkurang daripada sebelum dipirolisis (Abu Achmad dkk, 2012). Hasil penelitian ini menunjukkan kadar maksimal kadar air yang diperoleh sebesar 7,53%, sehingga karbon aktif ini memenuhi standar SII No.0258-79.

Pengaruh Suhu Terhadap Kadar Zat Menguap

Pengaruh suhu pirolisis terhadap kadar zat menguap disajikan pada Gambar 8.

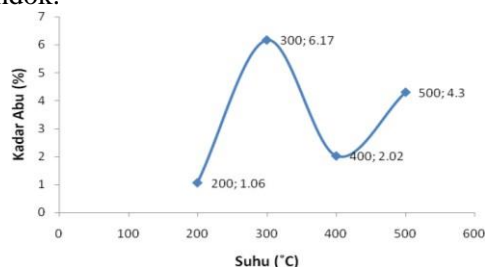


Gambar 8. Pengaruh Suhu Terhadap Kadar Zat Menguap

Gambar 8. menunjukkan grafik pengaruh suhu pirolisis karbon aktif eceng gondok terhadap kadar zat menguap. Peningkatan suhu pirolisis dapat mengurangi kadar zat menguap pada karbon aktif (Siahaan dkk, 2013). Pada grafik tersebut terlihat bahwa semakin tinggi suhu kadar zat menguapnya cenderung menurun walaupun ada peningkatan di suhu tertentu. Hasil pengujian kadar zat menguap karbon aktif eceng gondok ini belum memenuhi SII 0258-79 yaitu maksimal 15%.

Pengaruh Suhu Terhadap Kadar Abu

Gambar 9 menyajikan pengaruh suhu pirolisis terhadap kadar abu karbon aktif eceng gondok.



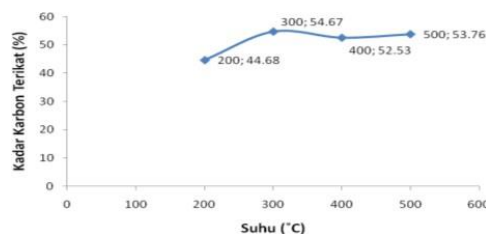
Gambar 9. Pengaruh Suhu Terhadap Kadar Abu

Gambar 9. menunjukkan grafik hasil pengujian kadar abu karbon aktif eceng gondok dengan variabel suhu. Dari grafik tersebut menunjukkan bahwa semakin tinggi suhu, kadar abu cenderung semakin meningkat. Peningkatan ini disebabkan kenaikan suhu pirolisis akan memicu teroksidasinya sebagian zat volatile termasuk karbon. Sedangkan abu tidak ikut teroksidasi karena abu bukan merupakan zat volatile (Ikawati dan Melati, 2009). Walaupun ada penurunan titik tertentu, kadar abu cenderung mengalami peningkatan seiring kenaikan suhu. Hasil pengujian kadar

abu karbon aktif eceng gondok ini memenuhi SII No.0258-79 yaitu kurang dari 2,5% pada suhu 200 dan 400°C.

Pengaruh Suhu Terhadap Kadar Karbon Terikat

Pengaruh suhu pirolisis terhadap kadar karbon terikat seperti terlihat pada Gambar 10.

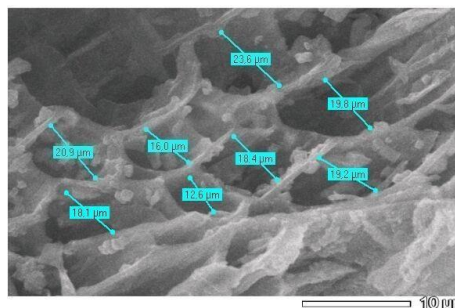


Gambar 10. Pengaruh Suhu Terhadap Kadar Karbon Terikat

Gambar 10. menunjukkan grafik pengaruh suhu terhadap kadar karbon terikat karbon aktif eceng gondok. Grafik tersebut menunjukkan semakin tinggi suhu kadar karbon terikatnya cenderung meningkat. Menurut Perrich (1981), besar kecilnya kadar karbon terikat bergantung pada besarnya kadar abu dan kadar zat menguap karbon aktif (Rini dan J.P Gentur, 2005). Hasil karbon terikat penelitian ini tidak memenuhi SNI 06-3730-1995, karena kurang dari 65%.

Uji SEM dan EDX Karbon Aktif

SEM merupakan salah satu metode surface analysis untuk mengetahui bentuk permukaan dari suatu bahan. Bentuk permukaan merupakan salah satu faktor yang berperan didalam kemampuan suatu adsorben untuk mengadsorpsi adsorbat. Hasil karakterisasi menggunakan SEM (Nasir dkk.2014).



Gambar 10. Hasil Uji SEM Karbon Aktif Eceng Gondok T = 500 °C t = 2 jam

Gambar 10 menunjukkan hasil pengujian SEM karbon aktif eceng gondok pada kondisi optimum T= 500 °C dan waktu pirolisis selama

2 jam. Dari gambar tersebut terlihat bahwa karbon aktif memiliki struktur berongga menyerupai pori-pori. Pori tersebut rata-rata memiliki diameter pori sebesar 18,6 mikrometer. Pori-pori yang terdapat pada karbon aktif dapat meningkatkan kemampuan karbon aktif untuk mengadsorpsi adsorbat karena pori tersebut merupakan celah yang memperluas permukaan karbon aktif (Nasir dkk.2014).

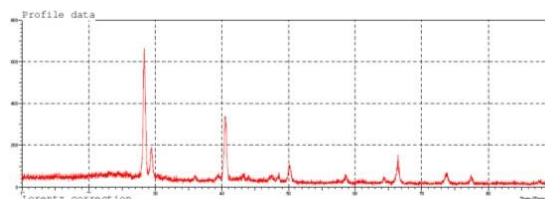
Setelah dilakukan uji EDX diperoleh hasil bahwa penyusun komponen kimia karbon aktif tertinggi adalah karbon (C) sebesar 85% berat. Selanjutnya Magnesium Oksida (MgO) 0,49% berat, Alumina (Al₂O₃) 0,19% berat, Klorida (Cl) 5,44% berat, Kalium Oksida (K₂O) 7,66% berat, Kalsium Oksida (CaO) 0,79% berat, dan Tembaga (II) Oksida (CuO) 0,44% berat.

Derajat Kristalinitas (%) dengan Metode XRD (X-Ray Diffraction)

Derajat kristalinitas merupakan perbandingan antara fasa kristal dengan fasa amorf yang terbentuk pada suatu bahan. Derajat kristalinitas memberikan gambaran tentang keteraturan struktur kristal yang terbentuk pada suatu bahan. Dalam hal ini akan terlihat bahwa suatu bahan akan memiliki struktur kristal, semi-kristal ataupun amorf. Derajat kristalinitas dihitung dengan cara membandingkan fraksi luas kristalin dengan jumlah antara fraksi luas kristalin dan fraksi luas amorf. Hasil perhitungannya akan memberikan gambaran besar persentase derajat kristalinitas dari karbon aktif tersebut. Makin besar persentase derajat kristalinitasnya, maka struktur kristal dari karbon aktif akan semakin tinggi dan jauh dari struktur amorf. (Vathasia, 2016).

Pada penelitian ini sampel yang digunakan dalam pengujian derajat kristalinitas (%) dengan metode XRD (X-Ray Diffraction) adalah sampel dari hasil pengujian terbaik yaitu karbon aktif eceng gondok variabel waktu 2 jam dengan suhu karbonisasi 500°C. Berdasarkan hasil analisis menggunakan sinar x, derajat kristalinitas (%) karbon aktif variabel limbah eceng gondok variabel waktu 2 jam dengan suhu karbonisasi 500°C adalah sebesar 64,205%. Semakin tinggi suhu karbonisasi maka derajat kristalinitas semakin rendah, yang artinya semakin banyaknya bagian amorf pada arang aktif. Tetapi jika suhu karbonisasi terlalu tinggi, maka dapat menyebabkan sebagian besar bahan menjadi abu (Pari, dkk, 2001).

Berikut adalah grafik hasil uji XRD karbon aktif eceng gondok waktu pirolisis 2 jam dan suhu aktifasi 500°C.



Gambar 11. Hasil Uji XRD Karbon Aktif Eceng Gondok T = 500 °C t = 2 jam

Derajat kristalinitas dari karbon aktif komersial adalah 27,79% (Vathasia, 2016). Derajat kristalinitas pada bahan baku tinggi disebabkan oleh kandungan holoselulosa. Holoselulosa merupakan jumlah dari polisakrida dalam kayu yang terdiri dari selulosa dan hemiselulosa (Lestari, 2012). Holoselulosa bagian dari serat yang bebas dari lignin. Semakin banyak kandungan holoselulosa maka semakin tinggi derajat kristalinitas. Hal ini sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Pari (2001) bahwa derajat kristalinitas pada bahan baku lebih didominasi oleh kandungan holoselulosa.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa waktu dan suhu pirolisis berpengaruh pada kualitas karbon aktif eceng gondok. Hasil pirolisis terbaik didapatkan pada waktu 2 jam dan suhu 500 °C, yaitu daya serap iodine 259,26 mg/g, kadar air 7,52 %, kadar zat mudah menguap 41,94 %, kadar abu 4,3 %, kadar karbon terikat 53,76 %. Sesuai hasil uji EDX penyusun komponen kimia karbon aktif tertinggi adalah karbon (C) sebesar 85%. Diameter pori karbon aktif rata-rata sebesar 18,6 mikrometer. Derajat kristalinitas karbon aktif eceng gondok sebesar 64,205%.

DAFTAR PUSTAKA

- Abu Achmad, Diah Susanti, dan Hariyati Purwaningsih, (2012), Pengaruh Temperatur Karbonisasi dan Konsentrasi Zink Klorida (ZnCl₂) Terhadap Luas Permukaan Karbon Aktif Eceng Gondok, ITS- paper-27001120000622.
- Ade Irma Maelani, (2015), Pembuatan Karbon Aktif Dari Jerami Padi Menggunakan *Activating Agent*

- H₃PO₄, Departement Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Arief Fajar Utomo dan Nungki Primastuti, (2013), Pemanfaatan Limbah Furniture Eceng Gondok (*Eichornia crassipes*) di Koen Galery Sebagai Bahan Dasar Pembuatan Briket Bioarang, *Jurnal Teknologi Kimia dan Industri*, Universitas Diponegoro : Semarang.
- Dalas Gumelar, Yusuf Hendrawan, dan Rini Yulianingsih, (2015), Pengaruh Aktivator dan Waktu Kontak Terhadap Kinerja Arang Aktif Berbahan Eceng Gondok (*Eichornia crassipes*) Pada Penurunan COD Limbah Cair Laundry, *Jurnal Keteknikan Pertanian Tropis dan Biosistem*, Vol. 3 No.1, Februari 2015, 15-23.
- Danarto, Y.C., Prasetyo Budi Utomo, dan Ferry Sasmita, (2010), Pirolisis Limbah Serbuk Kayu dengan Katalisator Zeolit, *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia "Kejuangan"*, ISSN 1693-4393
- Erawati, Emi., Eni Budiyati, dan Wahyudi Budi Sediawan, (2014), Karakteristik Produk Pirolisis dari Sekam Padi, Tongkol Jagung, dan Serbuk Gergaji Kayu Jati Menggunakan Katalis Zeolit, *Laporan Penelitian*, Universitas Muhammadiyah Surakarta: Surakarta
- Hartanto, Singgih dan Ratnawati, (2010), Pembuatan Karbon aktif dari Tempurung Kelapa Sawit dengan Metode Aktivasi Kimia, *Jurnal Sains Materi Indonesia*, Vol. 12, No. 1, hal : 12 – 16. ISSN : 1411-1098. Program Studi Teknik Kimia, FTI-ITI. Tangerang.
- Ikawati dan Melati, (2009), Pembuatan Karbon Aktif dari Limbah Kulit Singkong UKM Tapioka Kabupaten Pati, *Seminar Nasional Teknik Kimia Indonesia (SNTKI)*, ISBN 978-979-98300-1-2.
- Iskandar, (2012), Analisis Unsusr Karbon Aktif Tempurung Kelapa dengan Metode Analisis Ultimat (*Ultimate Analysis*), Makalah Jurnal Metodologi Penelitian, Program Magister Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- Nasir La Hasan, Muhammad Zakir dan Prastawa Budi, (2014), Deslikasi Karbon Aktif Sekam Padi Sebagai Adsorben Hg Pada Limbah Pengolahan Emas di Kabupaten Buru Propinsi Maluku, *Jurnal Indonesia Chimica Acta*, Vol. 7. No. 2, ISSN 2085-014X.
- Nursyakia Hajama, (2014), Studi Pemanfaatan Eceng Gondok Sebagai Bahan Pembuatan Pupuk Kompos Dengan Menggunakan Aktivator EM4 dan MOL Serta Prospek Pengembangannya, Tugas Akhir, Universitas Hassanudin : Makasar.
- Pari G, dan I.Sailah, (2001), Pembuatan Arang Aktif dari Sabut Kelapa Sawit dengan Bahan Pengaktif NH₄HCO₃ dan (NH₄)₂CO₃ Dosis Rendah, Bogor.
- Rini Pujiarti, dan J.P Gentur Sutapa, (2005), Mutu Arang Aktif dari Limbah Kayu Mahoni (*Swietenia macrophylla king*) sebagai Bahan Penjernih Air, *Journal Ilmu dan Teknologi Kayu Tropis*, Vol.3 No.2
- R.D. Ratnani, (2005), Proses Pirolisis Eceng Gondok (*Eichornia crassipes*) Menjadi Karbon Aktif dengan Bahan Pengaktif Natrium Klorida (NaCl), *Momentum*, Vol. 1, No. 1, April 2005, hal 5-10
- Rojikhi, (2011), Pemanfaatan Hasil Pirolisis Bulu Ayam sebagai Adsorben Ion Na dan Fe dalam Larutan Simulasi, *Skripsi*, Program Studi Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Negeri Syarif Hidayatullah, Jakarta.
- Scroder Eliabeth, (2006), Experiment on the Generation of activated carbon from Biomass, Institute for Nuclear and energy Technologies Forschungs Karlsruhe, hal 106-111, Germany.
- Sembiring, Sinaga, (2003), *Arang Aktif (Pengenalannya dan Proses Pembuatannya)*; Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara; Sumatera Utara
- Siti Jamilatun, dan Martono Setyawan, (2014), Pembuatan Arang Aktif dari Tempurung Kelapa dan Aplikasinya untuk Penjernihan Asap Cair, *Spektrum Industri*, Vol. 12, No.1, 1-112, ISSN : 1963-6590.
- Siahaan, Satriyani., Meliya Hutapea, dan Rosdanelli Hasibuan, (2013), Penentuan Kondisi Optimum Suhu dan Waktu Karbonisasi pada Pembuatan Arang dari Sekam Padi, *Journal Teknik Kimia USU*, Vol.2, No.1
- Sri Widyawati Nue, (2014), Pembuatan Arang Aktif dari Tempurung Kelapa Sebagai

- Adsorben Logam Merkuri (Hg) Suatu penelitian di Laboratorium Kimia Universitas Negeri Gorontalo), *Skripsi*, Jurusan Pendidikan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Gorontalo.
- Subadra, B.I.Setiaji, dan I. Tahir, (2005), *Activated Carbon Production From Coconut Shell with (NH₄)HCO₃ Activator As An Adsorbent In Virgin Coconut Oil Purification*. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.
- Vathasia Kartika, Ratnawulan, dan Gusnedi, (2016), *Pengaruh Suhu Karbonasi Terhadap Mikrostruktur dan Derajat Kritalinitas Karbon Aktif Kulit Singkong Sebagai Bahan Dasar GDL (Gas Diffusion Layer), Pillar of Physics, Vol. 7*, Universitas Negri Padang: Padang.
- Wibowo, Santiyo., Wasrin Syafii, dan Gustan Pari, (2009), *Karakteristik Arang Aktif Tempurung Biji Nyamplung (Colophyllum inophyllum Linn)*, Fakultas Kehutanan, IPB, Bogor.
- Zamrudy, Windi, (2008), "Pembuatan Karbon Aktif Dari Ampas Biji Jarak Pagar (*Jatropha curcas L.*), *Jurnal Teknologi Separasi*, Vol.1, Surabaya.