

PEMBUATAN KARBON AKTIF DARI SERBUK GERGAJI KAYU JATI (*Tectona grandis L.f.*) (SUHU DAN WAKTU KARBONASI)

MAKING ACTIVATED CARBON FROM TEAK WOOD SAWS (*Tectona grandis L.f.*) (TEMPERATURE AND TIME OF CARBONATION)

¹⁾Emi Erawati, ¹⁾Eva Rahmalia Helmy

^{1,2)}Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik

Universitas Muhammadiyah Surakarta

Jl. A. Yani, Mendungan, Pabelan, Kartasura 57162

E-mail: ¹⁾emierawati@ums.ac.id

ABSTRAK

Selama ini kayu jati (*Tectona grandis L.f.*) merupakan jenis kayu yang banyak digunakan, pengolahannya menjadi perabotan rumah tangga seperti meja, lemari dan lainnya menghasilkan serbuk gergaji. Masih jarang penelitian tentang pembuatan adsorben dari kayu jati. Dengan latar belakang tersebut, peneliti tertarik melakukan penelitian tentang pengaruh suhu dan waktu karbonisasi serta menguji karakteristik arang aktif tersebut. Proses pembuatan karbon aktif dimulai dengan menghaluskan serbuk gergaji kayu jati, mengayak dengan ukuran (-80+100 mesh), merendam selama 24 jam dengan H₃PO₄ 10%, menyaring dan residunya dibilas dengan aquadest hingga netral kemudian dikeringkan selama 3 jam dalam oven 110°C. Proses karbonisasi divariasikan pada suhu 300, 350, 400, dan 450°C. Ulangi penelitian tersebut untuk variasi waktu selama 20, 40, 60, dan 80 menit. Berdasarkan penelitian semakin tinggi suhu karbonisasi dan waktu karbonisasi menghasilkan rendemen, kadar air dan zat mudah menguap yang sedikit namun berbanding terbalik untuk kadar abu dan nilai iodin. Berdasarkan penelitian arang aktif yang dihasilkan sesuai standar SNI No. 06-3730-1995 yaitu hasil rendemen 39,12%; kadar air 1,93%; kadar abu 9,8%; kadar zat menguap 7,9%; kadar karbon terikat 80,36% dan daya serap terhadap iodin sebesar 825,05 mg/g.

Kata kunci: Adsorpsi, karbonisasi, karbon aktif, kayu jati, waktu karbonasi, suhu

ABSTRACT

*During this time teak wood (*Tectona grandis L.f.*) is a type of wood that is widely used, processing it into household furniture such as tables, cabinets and other produce sawdust. Research is still rare about making adsorbents from teak wood. With this background, researchers are interested in conducting research on the effect of temperature and carbonization time and testing the characteristics of activated charcoal. The process of making activated carbon begins with smoothing teak wood sawdust, sieving with size (-80 + 100 mesh), soaking for 24 hours with 10% H₃PO₄, filtering and rinsing the residue with aquadest until neutral and then dried for 3 hours in 110°C oven. Carbonization was varied at temperatures of 300, 350, 400, and 450°C. The research repeated for time variations of 20, 40, 60, and 80 minutes. Based on the research, the higher the carbonization temperature and the carbonization time produce are less yield, moisture, and volatile matter but inversely proportional to ash content and iodine value. Based on the research activated charcoal according to SNI standard No. 06-3730-1995 yield, water content, ash content, volatile substance levels, the bound carbon content, the absorption capacity of iodine are 39.12%; 1.93%; 9.8%; 7.9%; 80.36%, 825.05 mg/g respectively.*

Keywords: Adsorption, carbonization, active carbon, teak wood.

PENDAHULUAN

Perkembangan industri di era saat ini, penggunaan karbon aktif mengalami peningkatan, namun pemenuhan karbon aktif dalam negeri kurang dioptimalkan karena masih mengandalkan impor. Berbagai penggunaan karbon aktif dalam dunia industri seperti industri makanan dan minuman, obat-obatan, pengolahan air, dan lain-lain. Hampir 70% produk karbon aktif dimanfaatkan untuk proses

pemurnian dalam sektor minyak kelapa, farmasi (obat-obatan) dan kimia (Pambayun *et al.*, 2013). Di Indonesia sendiri produksi karbon aktif telah mengalami kemajuan dan permintaan mengalami peningkatan untuk keperluan industri serta peralatan yang membantu aktivitas manusia.

Indonesia merupakan salah satu negara yang kaya dengan sumber daya alam, maka tidak menutup kemungkinan kebutuhan karbon aktif dapat terpenuhi dengan produksi dalam negeri yaitu dengan memanfaatkan sumber daya alam (SDA). Pemanfaatan sumber daya alam yang tersedia di Indonesia terutama yang mengandung unsur karbon seperti serbuk gergaji kayu jati.

Tanaman jati dengan nama ilmiah *Tectona grandis Linn.f.*, dikenal sebagai salah satu jenis kayu yang sering digunakan untuk berbagai keperluan dan komoditas terbesar di Indonesia (Akram and Aftab, 2016). Kayu jati merupakan salah satu jenis kayu yang banyak digunakan untuk memproduksi mebel dan furnitur. Pengolahan kayu jati (*Tectona grandis L.f.*) diantaranya menjadi beberapa produk rumah tangga seperti meja, kursi, lemari dan perabot lainnya. Proses pembuatan perabot tersebut, menghasilkan limbah padat seperti serbuk gergaji kayu dan belum dimanfaatkan secara optimal, sehingga pengolahannya masih dibuang dan dibakar.

Industri penggergajian banyak menghasilkan limbah salah satunya serbuk gergaji, 10,6% dari total produksi merupakan jumlah serbuk gergaji. Dengan melimpahnya serbuk gergaji dinilai cukup baik untuk menjadi adsorben polutan limbah karena mengandung karbon yang tinggi (Saputro, 2016).

Karbon dapat dibuat dari diproduksi dari berbagai jenis bahan baku, karena karakteristik fisik dan kimia dari bahan baku dan metode persiapan berpengaruh signifikan pada kualitas dan sifat karbon aktif (Shirzad *et al.*, 2015).

Beberapa komponen terdapat dalam kayu jati antara lain: selulosa 40,26-43,12%; hemiselulosa 27,07-31,97%, holoselulosa 70,19-72,24%; dan lignin 24,74-28,07% (Aida, 2013). Kandungan selulosa, hemiselulosa, dan lignin dari kayu jati memiliki presentase bahan yang baik menghasilkan karbon aktif (Haniffudin and Diah, 2013). Komposisi yang terdapat dalam serbuk gergaji kayu jati menjadi gagasan untuk pembuatan karbon aktif.

Karbon aktif memiliki kekuatan adsorpsi fisik terkuat dari volume penyerap tertinggi. Berwarna hitam dan padat yang menyerupai granular atau bubuk arang dan sangat berpori dengan luas permukaan yang sangat besar. Memiliki luas permukaan mencapai lebih dari 1000 m²/g (Rahman *et al.*, 2012).

Adanya pori-pori dalam karbon aktif berguna untuk menjerap/mengadsorpsi. Selain aplikasi dalam dunia industri, karbon aktif juga dapat digunakan dalam proses pemurnian air, seperti pengolahan air minum dan juga pengolahan limbah (Maelani, 2015). Melalui proses karbonisasi dan aktivasi, karbon aktif dihasilkan dari bahan yang banyak mengandung karbon. Dengan proses aktivasi fisika seperti pemanasan pada suhu 800°C-1000°C dan aktivasi kimia. Hal ini kemudian diikuti dengan aktivasi menggunakan uap, karbon dioksida (CO₂) atau oksigen (O₂) (Shamsuddin *et al.*, 2016).

Tabel 1. Persyaratan Karbon Aktif Standar Nasional Indonesia

No.	Jenis Persyaratan	Parameter
1.	Kadar Air	Maks 15%
2.	Kadar Abu	Maks 10%
3.	Kadar Zat Menguap	Maks 25%
4.	Kadar Karbon Terikat	Min 65%
5.	Daya Serap Terhadap Iodium	Min 750 mg/g

(Vinsiah dkk, 2015)

Untuk mengembangkan struktur berpori bahan dilakukan aktivasi kimia, prekursor dicampur dengan sejumlah agen aktif seperti KOH, NaOH, H₃PO₄ dan ZnCl₂. Asam fosfat baru-baru ini lebih disukai karena masalah lingkungan dan ekonomi di antara berbagai agen dehidrasi yang digunakan

untuk aktivasi kimia (Kumar and Jena, 2016). H_3PO_4 yang digunakan cenderung meningkatkan rendemen dan juga menurunkan laju reaksi saat terjadinya proses oksidasi sehingga dapat disimpulkan bahwa H_3PO_4 melindungi arang dari temperatur yang tinggi (Hendra *et al.*, 2015).

Karbon aktif memiliki pori-pori dalam jumlah besar sehingga menyebabkan daya adsorpsi. Antara permukaan karbon dan zat yang diserap mengalami perbedaan energi potensial sehingga terjadi proses adsorpsi. Pada dasarnya daya adsorpsi suatu karbon aktif rendah terhadap zat warna, namun dapat diperbesar dengan cara mengaktifkannya dengan bahan kimia atau uap (Turmuzi and Syaputra, 2015). Karbon aktif merupakan bahan karbon berpori dengan luas permukaan sangat berkembang dan kelompok permukaan yang kaya, yang banyak digunakan dalam berbagai aplikasi, termasuk adsorpsi, katalis *support*, pemisahan gas (Kumar and Jena, 2016).

Sifat adsorptif terhadap larutan maupun uap merupakan salah satu sifat arang aktif sehingga berfungsi untuk menjernihkan larutan, menghilangkan warna dan penghisap gas ataupun racun. Dalam dunia industri banyak yang mengaplikasikan arang aktif, seperti industri makanan, farmasi, pembuatan gula pasir, minyak ikan dan lain-lain (Saputro, 2016).

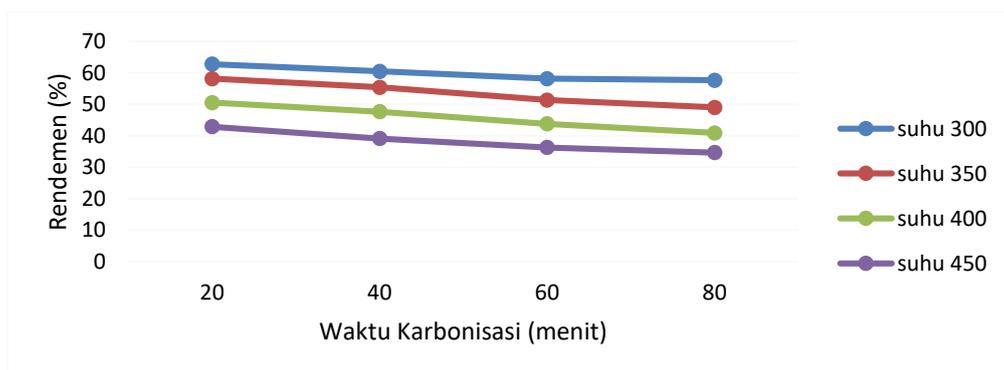
Menurut Kartika *et al.* (2016) yang telah melakukan penelitian tentang pengaruh suhu karbonisasi juga terlihat pada warna karbon aktif kulit singkong secara visual. Semakin tinggi suhu karbonisasi, maka warna karbon aktif akan semakin hitam dan gelap. Hal ini disebabkan karena senyawa-senyawa non karbon telah mengurai selama proses karbonisasi berlangsung. Sehingga suhu yang tinggi akan meningkatkan kemurnian karbon aktif yang berwarna hitam yang terkandung dalam kulit singkong tersebut.

Untuk mengurangi impor karbon aktif dan dapat memenuhi permintaan karbon aktif dalam negeri, maka perlu dilakukan upaya untuk memproduksi karbon aktif dari limbah yang tidak mahal dalam segi biaya namun sangat optimal penggunaannya. Berdasarkan uraian tersebut peneliti tertarik melakukan penelitian tentang pengaruh suhu dan waktu karbonisasi pembuatan adsorben dari serbuk gergaji kayu jati.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Rendemen Arang

Menurut Salim (2016), penetapan rendemen bertujuan untuk mengetahui jumlah arang yang dihasilkan karbon aktif setelah mengalami karbonisasi. Pengaruh suhu dan waktu karbonisasi terhadap presentase rendemen arang dari serbuk gergaji kayu jati dapat dilihat pada Gambar 1.



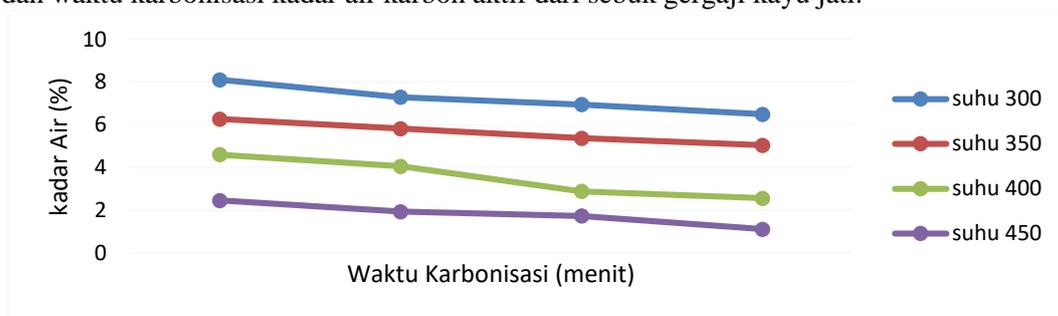
Gambar 1. Pengaruh suhu dan waktu karbonisasi terhadap rendemen arang

Berdasarkan data hasil penelitian pada Gambar 1. menunjukkan bahwa dengan bahan baku sebesar 60 gram pada suhu terendah 350°C selama 20 menit dan suhu tertinggi selama 80 menit rendemen yang dihasilkan secara berurutan adalah 62,72% dan 34,65%. Sehingga dapat disimpulkan bahwa presentase rendemen yang dihasilkan mengalami penurunan, disebabkan terjadinya peningkatan suhu dan lama waktu karbonisasi. Hal tersebut sesuai dengan hasil penelitian yang

dilakukan oleh Vinsiah dkk. (2014) menjelaskan bahwa rendemen arang yang dihasilkan akan mengalami penurunan yang disebabkan peningkatan suhu dan lama waktu karbonisasinya.

2. Kadar Air

Sejumlah kandungan air yang terdapat dalam arang aktif secara kuantitatif dinyatakan dengan bentuk persen disebut kadar air (Salim, 2016). Gambar 2 menunjukkan hubungan antara pengaruh suhu dan waktu karbonisasi kadar air karbon aktif dari sebuk gergaji kayu jati.



Gambar 2. Pengaruh suhu dan waktu karbonisasi kadar air karbon aktif

Berdasarkan data presentase kadar air pada Gambar 2. menunjukkan adanya sifat higroskopis dalam suatu karbon aktif dapat diketahui dengan melihat kadar airnya. Pada data hasil penelitian diperoleh kadar air sebesar 1,112%-8,108%. Presentase kadar air tersebut sesuai SNI No. 06-3730-1995 tentang kadar air yang maksimum 15%, hal ini menunjukkan semua arang aktif dengan berbagai variasi suhu dan waktu karbonisasi dapat memenuhi standar SNI yang diharapkan. Pada hasil karbonisasi dari karbon aktif diperoleh kadar air tertinggi pada suhu 300°C selama 20 menit dan kadar terendah pada suhu 450°C selama 80 menit secara berurutan adalah 8,108% dan 1,112%. Faktor yang mempengaruhi lama waktu proses pengarangan adalah suhu dan kelembaban setelah pendinginan yang dilakukan, sehingga menyebabkan tinggi atau rendahnya kandungan kadar air pada karbon aktif. Pada setiap pembakaran dengan suhu yang bervariasi menghasilkan kadar air pada karbon aktif kayu jati yang berbeda, hal ini dikarenakan terjadinya penyerapan dan pengeluaran cairan (air) (Salim, 2016).

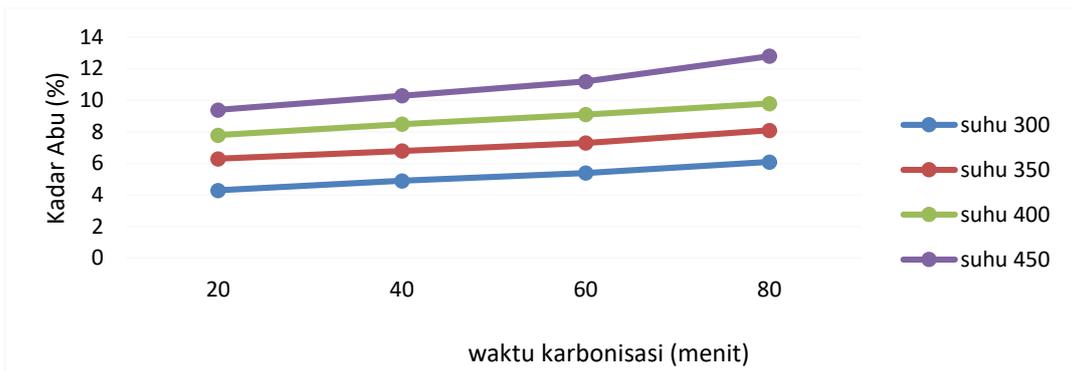
Pada suhu 300°C kadar airnya dari karbon aktif mengalami penurunan seiring dengan penambahan waktu karbonisasi. Sementara dengan peningkatan suhu 350, 400, dan 450°C kondisi suhu karbonisasi menghasilkan kadar air yang semakin menurun. Pada suhu 100°C terjadi perubahan fase dari H₂O menjadi gas karena telah mencapai titik didihnya. Pada kondisi tersebut, terjadi pelepasan H₂O bebas yang terikat pada karbon membentuk gas. Menurut Vinsiah, dkk. (2014) menyatakan bahwa tingginya presentase kadar air menyebabkan daya serap karbon semakin berkurang. Hal ini dapat mempengaruhi kemampuan adsorben dari karbon aktif.

Uji kadar air digunakan untuk mengetahui seberapa banyak air yang teruapkan selama proses karbonisasi. Hal tersebut bertujuan agar pori-pori karbon aktif tidak tertutup oleh air, karena apabila pori-pori pada karbon aktif semakin besar menunjukkan bahwa molekul dalam air tidak hilang atau tidak mengalami penguapan. Kemampuan adsorben dari karbon aktif dapat diketahui dari seberapa besar luas permukaannya. Kualitas karbon aktif semakin baik dapat diketahui berdasarkan kemampuan adsorbsinya (Idrus dkk, 2013).

3. Kadar Abu

Uji kadar abu dilakukan dalam penelitian untuk mengetahui adanya kandungan oksida logam dalam karbon. Persenyawaan antara logam dengan oksigen disebut oksida logam. Pada saat proses pembakaran, sisa mineral yang tertinggal disebut kadar abu.

Elizabeth (2002) dalam Siahaan dkk. (2013) menyatakan bahwa kadar abu bertujuan untuk mengetahui adanya oksida-oksida logam yang terdiri dari mineral yang tidak dapat menguap pada proses karbonisasi.



Gambar 3. Pengaruh suhu dan waktu karbonisasi terhadap kadar abu karbon aktif

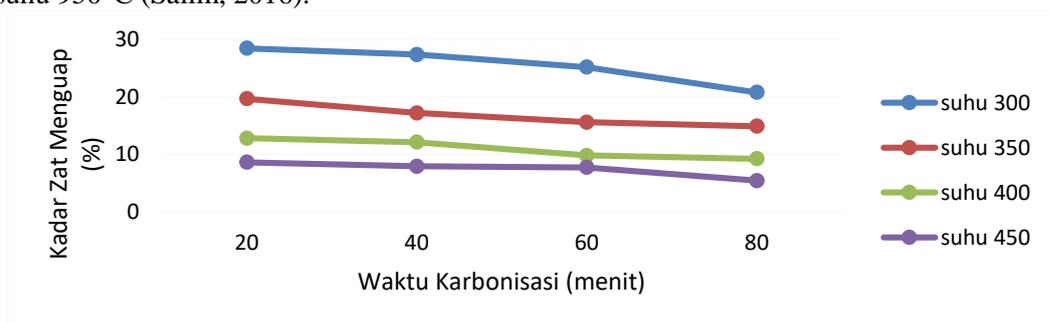
Bahan dasar pembuatan karbon aktif yang berasal dari sumber daya alam tidak hanya mengandung senyawa karbon, namun juga mengandung beberapa mineral. Pada proses karbonisasi dan aktivasi, sebagian mineral tersebut beberapa ada yang hilang dan tertinggal dalam karbon aktif (Siregar dkk, 2015).

Berdasarkan standar SNI No. 06-3730-1995 tentang persyaratan besar kadar abu maksimum 10%, pada Gambar 3. Menunjukkan bahwa tidak semua sampel karbon aktif memiliki kadar abu yang memenuhi standar. Berdasarkan data penelitian kadar abu terendah pada suhu 300°C dan tertinggi pada 450°C yang keduanya dilakukan selama 20 menit secara berturut-turut adalah 4,3% dan 12,8%.

Pada Gambar 3. menunjukkan bahwa grafik mengalami kenaikan dengan bertambahnya suhu dan lama waktu karbonisasi. Hal tersebut sesuai dengan penelitian terdahulu yang menunjukkan bahwa kadar abu akan mengalami peningkatan seiring semakin lama waktu karbonisasi sehingga menyebabkan karbon akan habis terbakar dan menyisakan abu yang merupakan hasil sisa pembakaran (Junary dkk, 2015).

4. Kadar Volatile Matter

Uji *volatile matter* pada karbon aktif serbuk gergaji kayu jati perlu dilakukan untuk mengetahui seberapa besar kadar zat yang mudah menguap karena disebabkan pengaruh besar kecilnya suhu dan lama waktu karbonisasi dari karbon aktif. Penetapan kadar zat mudah menguap bertujuan untuk mengetahui kandungan senyawa yang belum menguap pada proses karbonisasi tetapi menguap pada suhu 950°C (Salim, 2016).



Gambar 4.

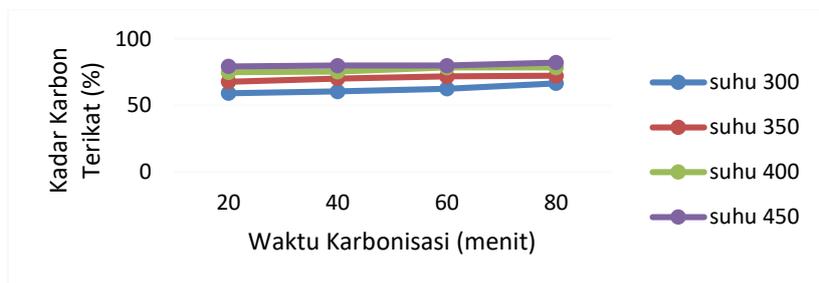
Pengaruh suhu dan waktu karbonisasi terhadap kadar zat mudah menguap

Gambar 4. menunjukkan bahwa karbon aktif mengandung kadar zat mudah menguap antara 5,4-28,5%. Berdasarkan data penelitian kadar zat mudah menguap tertinggi terjadi pada suhu karbonisasi 300°C selama 20 menit sebesar 28,5%. Besar presentase kadar zat mudah menguap tersebut tidak memenuhi SNI maksimum 25%. Hal ini terjadi dikarenakan masih terdapat zat *volatile* yang tertinggal di dalam karbon aktif. Selain itu proses aktivasi kimia dapat menambah *volatile matter* karena proses pencucian setelah aktivasi kimia yang kurang sempurna (kusdarini).

Menurut Pari (2004) dalam Siregar (2015), menyatakan hilangnya zat mudah menguap terjadi ketika mengalami peningkatan suhu dan lama proses pirolisis, sehingga menyebabkan semakin rendahnya kadar zat mudah menguap yang diperoleh. Senyawa *volatile* yang tertinggal terutama *ter*, akan teruap dengan menaikkan suhu proses karbonisasi, sehingga menyebabkan bertambahnya jumlah pori-pori. Data pada Gambar 4. menunjukkan karbon aktif berbentuk serbuk, presentase kadar zat menguap dari penelitian ini sesuai standar SNI No. 06-3730-95 tentang kadar zat mudah menguap maksimal 25%. Hasil data tersebut berbeda dengan nilai kadar zat mudah menguap karbon aktif sekam padi pada penelitian yang dilakukan Siregar (2015) yang dihasilkan rata-rata 19,734%.

5. Kadar Karbon Terikat

Penentuan kadar karbon terikat bertujuan untuk mengetahui kandungan karbon setelah proses karbonisasi dan aktivasi (Hendra dkk, 2015). Selain proses karbonisasi dan aktivasi pada karbon aktif, untuk mengetahui kandungan karbon dilakukan dengan uji kadar karbon terikat. Sesuai standar SNI No. 06-3730-1995 untuk kadar karbon terikat minimal 65%. Berdasarkan Gambar 5. menunjukkan bahwa hasil kadar karbon terikat pada penelitian ini berkisar 59,09-80,69% dan tidak semua sampel karbon aktif memenuhi standar. Karbon aktif pada suhu karbonisasi 300°C selama 20 menit dan memiliki kadar karbon terikat yang paling rendah dan tertinggi diperoleh pada suhu karbonisasi 450°C selama 80 menit.



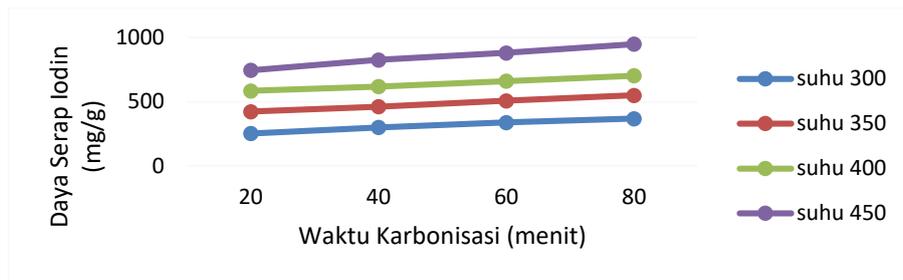
Gambar 5. Kadar karbon terikat dari karbon aktif

Tinggi rendahnya nilai kadar abu dan kadar zat mudah menguap mempengaruhi presentase kadar karbon terikat. Selain itu, kadar karbon terikat juga dipengaruhi oleh atom karbon yang berasal dari terkonversinya kandungan selulosa dan lignin. Tingginya tingkat kemurnian kadar karbon terikat maka semakin baik pula karbon aktif tersebut untuk menjerap. Nilai kadar karbon terikat arang aktif bahkan bisa lebih tinggi dari arangnya, hal ini dikarenakan pada proses aktivasi banyak senyawa non-karbon yang hilang (Hendra dkk,2014).

Semakin tinggi tingkat kemurnian karbon aktif menunjukkan bahwa pori-pori karbon aktif bersih dari pengotor, hal ini dapat dijadikan tolak ukur kemampuan adsorben karbon aktif memiliki daya serap yang semakin baik. Kinerja adsorpsi dari karbon aktif dipengaruhi oleh pengotor yang menutupi pori-pori karbon aktif. Pengotor tersebut tersusun dari atom C. Hendra, dkk (2015) menyatakan bahwa rendahnya kadar karbon terikat memiliki kadar pengotor yang tinggi.

6. Daya Serap terhadap Iodin

Itodo (2010) dalam Pandia dan Sitorus (2016) menyatakan bahwa parameter utama untuk melihat karakteristik dari adsorben/karbon aktif dapat menggunakan bilangan iodin. Bilangan iodin tersebut memiliki satuan mg/g. Kandungan mikropori dapat diukur dengan bilangan iodin dengan cara mengukur daya serap iodin dari larutan. Daya serap terhadap iodin pada karbon aktif dapat dipengaruhi oleh suhu dan lama waktu karbonisasi.



Gambar 6. Daya Serap Terhadap Iodin Karbon Aktif

Berdasarkan Gambar 6. menunjukkan bahwa proses karbonisasi pada suhu 300°C waktu selama 20 menit menghasilkan bilangan iodin 253.86 mg/g dimana pada variasi tersebut belum memenuhi standar SNI. 06-3730-1995. Sedangkan karbonisasi pada suhu 450°C selama 40 menit bilangan iodinnya sebesar 825, 045 mg/g yang menunjukkan dengan kondisi tersebut telah memenuhi standar SNI minimal 750 mg/g. Menurut Kaewprasit (2007) dalam Turmuzi dan Syaputra (2015) menyatakan bahwa pembentukan karbon aktif dipengaruhi oleh suhu karbonisasi.

Penelitian yang telah dilakukan Turmuzi dan Syaputra (2015), menunjukkan pada proses karbonisasi menghasilkan bilangan iodin terendah pada suhu 400°C sebesar 342, 63 mg/g sedangkan bilangan iodin tertinggi pada suhu 600°C sebesar 494,91 mg/g. Hal tersebut menunjukkan bahwa semakin tinggi suhu karbonisasi akan menghasilkan nilai iodin yang tinggi dan sebaliknya. Peningkatan suhu pada proses karbonisasi mengakibatkan komponen-komponen seperti air dan kandungan senyawa *volatile* keluar dari dalam adsorben. Pengotor-pengotor pada bagian pori-pori ikut terlepas pada kondisi suhu yang lebih tinggi sehingga hal ini menyebabkan memperbesar luas permukaan adsorben. Besarnya luas permukaan adsorben yang terjadi ditunjukkan dengan adanya peningkatan bilangan iodin (Pandia dan Sitorus, 2016).

KESIMPULAN

Semakin tinggi suhu dan lama waktu karbonisasi menghasilkan rendemen, kadar air dan zat mudah menguap yang semakin sedikit namun berbanding terbalik untuk kadar abu dan nilai iodin. Kondisi optimum proses karbonisasi adalah pada suhu 450°C selama 40 menit menghasilkan kadar air sebesar 1,93%. Presentase kadar air yang dihasilkan tersebut telah memenuhi syarat mutu SII No. 0258-88.

DAFTAR PUSTAKA

- Aida, N. U. R. (2013). Pembuatan kemasan aktif penjerap etilena menggunakan arang aktif jati sebagai adsorben. (Skripsi tidak dipublikasikan). Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Haniffudin, N. & Diah, S. (2013). Pengaruh variasi temperatur karbonisasi dan karbon aktif tempurung kelapa dan kapasitansi Electric Double Layer Capacitor (EDLC). *Jurnal Teknik Pomits*, 2(1), F-13-F-17.
- Hendra, D., Gusti, R. E. P., & Komatayati, S. (2014). Pemanfaatan limbah tempurung kemiri sunan (*Aleurites trisperma*) sebagai bahan baku pada pembuatan arang aktif. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 32(4), 271-282.
- Hendra, D., Wulanawati, A., Gustina, K. & Wibisono, H. S. (2015). (Cerbera manghas) sebagai adsorben pada peningkatan kualitas air minum (utilization of activated charcoal made of bintaro's fruit shell (Cerbera manghas) as an adsorbent to improve water quality), 33(3), 181-191.
- Idrus, R. Boni, P.L. & Yoga, S.S. (2013). Pengaruh Suhu aktivasi terhadap kualitas karbon aktif berbahan dasar tempurung kelapa, *Jurnal Prisma Fisika*, 1(1), 50-55.
- Junary, E., Julham, P.P., & Netti, H. (2015). Pengaruh suhu dan waktu karbonisasi terhadap nilai kalor dan karakteristik pada pembuatan bioarang berbahan baku pelepah aren (*Arenga pinnata*). *Jurnal Teknik Kimia USU*, 4(2), 46-52.
- Kartika, V. (2016). Karbon aktif kulit singkong sebagai bahan dasar GDL (Gas Diffusion Layer).

- 7(4), 105–112.
- Kumar, A. & Jena, H. M. (2016). Preparation and characterization of high surface area activated carbon from Fox nut (*Euryale ferox*) shell by chemical activation with H_3PO_4 . *Results in Physics*, 6, 651–658. doi: 10.1016/j.rinp.2016.09.012.
- Maelani, A. I. (2015). Pembuatan karbon aktif dari jerami padi menggunakan activating agent H_3PO_4 . (Skripsi tidak dipublikasikan). Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Pambayun, G. S., Yulianto, R. Y. E., Rachimoallah, M., Putri, E. M. M., Kimia, J. T. & Industri, F. T. (2013). Pembuatan karbon aktif dari arang tempurung kelapa dengan aktivator $ZnCl_2$ dan Na_2CO_3 sebagai adsorben untuk mengurangi kadar fenol dalam air limbah. *Jurnal Teknik Pomits*, 2(1), 2301–9271.
- Pandia, S., & Sitorus, R. (2016). Penentuan bilangan iodin adsorben kulit jengkol dan aplikasinya dalam penyerapan logam Pb (II) pada limbah cair industri pelapisan logam. *Jurnal Teknik Kimia USU*, 5(4).
- Rahman, M. M., Awang, M., Mohosina, B. S., Kamaruzzaman, B. Y., Nik, W. B. W. & Adnan, C. M. C. (2012). Waste Palm Shell Converted to High Efficient Activated Carbon by Chemical Activation Method and Its Adsorption Capacity Tested by Water Filtration. *APCBEE Procedia*, 1(1), 293–298. doi: 10.1016/j.apcbee.2012.03.048.
- Salim, R. (2016). Karakteristik dan mutu arang kayu jati (*Tectona grandis*) dengan Sistem pengarangan campuran pada metode tungku drum. *Jurnal Riset Industri Hasil Hutan*. 8(2), 53-64.
- Saputro, S. (2016) ‘Karbon Aktif Dari Serbuk Gergaji Kayu Jati (*Tectona Grandis L . F .*) Sebagai Adsorben Ion Logam Pb (Ii) Dan Analisisnya Menggunakan Solid-Phase Spectrophotometry (Sps)’, 1(2).
- Shamsuddin, M. S., Yusoff, N. R. N. & Sulaiman, M. A. (2016). Synthesis and Characterization of Activated Carbon Produced from Kenaf Core Fiber Using H_3PO_4 Activation. *Procedia Chemistry*, 19, 558–565. doi: 10.1016/j.proche.2016.03.053.
- Shirzad, M., Khataee, A., Hassani, A. & Karaca, S. (2015). Preparation, characterization and application of a CTAB-modified nanoclay for the adsorption of an herbicide from aqueous solutions: Kinetic and equilibrium studies. *Comptes Rendus Chimie, King Saud University*, 18(2), 203–216. doi: 10.1016/j.arabjc.2012.04.047.
- Siahaan, S., Hutapea, M., & Hasibuan, R. (2013). Penentuan kondisi optimum suhu dan waktu karbonisasi. *Jurnal Teknik Kimia USU*, 2(1), 26–30.
- Siregar, Y. D., Heryanto, R., Riyadhi, A., Lestari, T.H., & Nurlela. (2015). Karakterisasi karbon aktif asal tumbuhan dan tulang hewan menggunakan ftir dan analisis kemometrika. *Jurnal Penelitian dan Pengembangan Ilmu Kimia*, 1(2), 103-116.
- Turmuzi, M. & Syaputra, A. (2015). Pengaruh suhu dalam pembuatan karbon aktif dari kulit salak (*Salacca edulis*) dengan impregnasi asam fosfat (H_3PO_4). *Jurnal Teknik Kimia Usu*, 4(1), 42–46.
- Vinsiah, R., Suharman, A. & Desi. (2014). Pembuatan karbon aktif cangkang kulit buah karet (*Hevea brasiliensis*). *Prodi Pendidikan Kimia FKIP UNSRI*, 3(1), 189–199.
- Vinsiah, R., Suharman, A. & Desi. (2015). Pengaruh variasi suhu karbonisasi terhadap daya serap karbon aktif cangkang kulit buah karet (*Hevea brasiliensis*). *Prodi Pendidikan Kimia FKIP UNSRI*, 3(1), 294-303.