

PENGARUH WAKTU DAN SUHU PEMBUATAN KARBON AKTIF DARI TEMPURUNG KELAPA SEBAGAI UPAYA PEMANFAATAN LIMBAH DENGAN SUHU TINGGI SECARA PIROLISIS

Khornia Dwi Lestari L.F^{1*}, Rita Dwi Ratnani¹, Suwardiyono¹, Nur Kholis¹

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

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

*Email : khorniadwi@gmail.com

Abstrak

Tempurung kelapa merupakan limbah yang cukup berlimpah di Indonesia dan dianggap sebagai masalah. Solusi yang dapat diterapkan pada kasus limbah tempurung kelapa ini adalah menjadikannya sebagai karbon aktif. Karbon aktif banyak digunakan sebagai adsorben di dalam industri. Penelitian ini bertujuan untuk membuat karbon aktif dari pemanfaatan tempurung kelapa secara pirolisis dengan tanpa menambahkan bahan pengaktif serta untuk mengetahui pengaruh variabel waktu dan suhu pirolisis terhadap mutu karbon aktif tersebut sesuai dengan SII No. 0258-79. Metode yang digunakan adalah dengan suhu tinggi secara pirolisis. Tahap penelitian ini meliputi preparasi tempurung, pirolisis, uji kualitas karbon aktif. Proses pirolisis dilakukan dengan variasi waktu 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 jam, variasi suhu 225, 250, 275, 300, 325, 350 °C. Hasil penelitian menunjukkan hasil uji karbon terbaik pada waktu 5 jam dan suhu 325°C. Hasil uji meliputi daya serap iodine terbaik 477,83 mg/g, kadar air 2,04%, kadar zat menguap 54,08%, kadar abu 0%, kadar karbon terikat 45,92%. Keseluruhan hasil uji menunjukkan bahwa kadar daya serap larutan iodin lebih besar dari 20% (200mg/g), kadar air kurang dari 10%, dan kadar abu kurang dari 2,5% telah memenuhi SII No.0258-79.

Kata kunci : karbon aktif, pirolisis, tempurung kelapa

PENDAHULUAN

Limbah yang cukup berlimpah di Indonesia dan dianggap sebagai masalah adalah tempurung kelapa. Tempurung kelapa dikategorikan sebagai kayu keras tetapi mempunyai kadar lignin yang lebih tinggi dan kadar selulosa lebih rendah dengan kadar air sekitar enam sampai sembilan persen (dihitung berdasarkan berat kering) dan terutama tersusun dari lignin, selulosa dan hemiselulosa (Tilman, 1981 dalam Sri Widayati Nue, 2014).

Solusi yang dapat diterapkan pada kasus limbah tempurung kelapa 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, karbon aktif yang baik mempunyai persyaratan yang tercantum pada Tabel 1:

Tabel 1. Persyaratan Karbon Aktif (SII No.0258-79)

Jenis	Persyaratan
Bagian yang hilang pada pemanasan 950 °C	Maksimum 15%
Kadar air	Maksimum 10%
Kadar abu	Maksimum 2,5%
Bagian yang tidak diperarang	Tidak nyata
Daya serap terhadap larutan I ₂	Minimal 20% (200 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 tempurung kelapa 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 terhadap hasil karbon aktif tempurung kelapa.

METODE PENELITIAN

Bahan Penelitian

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

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.

Prosedur Percobaan

Persiapan Bahan Baku

Tempurung kelapa dibersihkan dari sisa – sisa sabutnya, kemudian dikecilkan ukurannya dan dikeringkan dibawah sinar matahari.

Tahapan Pirolisis

Tempurung kelapa 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. Tempurung kelapa dipirolisis dengan variasi waktu 1, 2, 3, 4, 5, 6, dan 7 jam dan variasi suhu 225, 250, 275, 325, dan 350 °C.

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 iodin.

Analisa Kadar Air

Karbon aktif sebanyak 1 gr dikeringkan dalam oven pada suhu (105) °C selama 3 jam. Kemudian dimasukkan ke dalam desikator, dan timbang. Masukkan oven selama 10 menit dan masukkan ke desikator lagi. Ulangi sampai

bobotnya tetap dan ditentukan kadar airnya dalam persen (%).

Analisa Kadar Zat Menguap

Cawan porselin yang berisi contoh dari penentuan air, ditutup dan diikat dengan kawat nichrome. Cawan dimasukkan ke dalam tanur listrik pada 950 °C selama 6 menit. Sebelumnya dilakukan terlebih dahulu pemanasan pendahuluan pada bagian datar selama 2 menit dan pada pangkal tanur selama 3 menit. Setelah penguapan selesai cawan dimasukkan ke dalam desikator sampai beratnya konstan dan selanjutnya ditimbang.

Analisa Kadar Abu

Cawan yang sudah berisi contoh yang kadar air dan kadar zat menguapnya sudah ditetapkan, digunakan untuk mengukur kadar abu. Caranya cawan tersebut diletakkan dalam tanur, perlahan – lahan dipanaskan mulai dari suhu kamar sampai 600 °C selama 6 jam. Selanjutnya didinginkan dalam desikator sampai beratnya konstan, kemudian ditimbang beratnya.

Analisa Kadar Karbon Terikat

Penentuan kadar karbon aktif murni dilakukan dengan menghitung selisih antara seratus persen dengan nilai hasil penjumlahan kadar abu dan zat mudah menguap.

Analisa Daya Serap Terhadap Larutan Iodin

Hasil karbon aktif dihaluskan, ditimbang sebanyak 5 gr dan dimasukan ke dalam erlenmeyer. Kemudian contoh uji tersebut diberi larutan iodium sebanyak 25 ml, diaduk campuran iodin dan sampel dengan hati – hati kemudian disimpan di tempat gelap selama 2 jam. Setelah 2 jam, tambahkan 10 mL larutan KI 20% dan 150 mL air suling kedalam erlenmeyer, kemudian diaduk dan disaring menggunakan kertas saring, dan hasilnya dipipet 10 ml untuk titrasi menggunakan larutan tiosulfat dengan indikator amilum. Titrasi dilakukan hingga larutan contoh uji berubah menjadi bening.

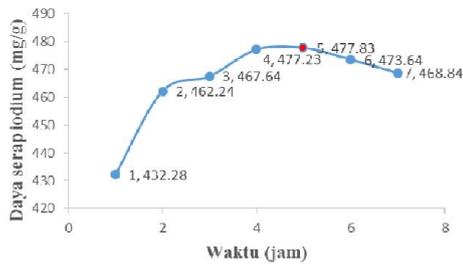
HASIL DAN PEMBAHASAN

Waktu Terbaik Proses Pirolisis

Pengaruh waktu pirolisis terhadap analisa mutu karbon aktif tempurung kelapa 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 iodin.



Gambar 1. Pengaruh Waktu Terhadap Daya Serap Larutan Iodin

Gambar 1. menunjukkan bahwa daya serap terhadap larutan iodin terbaik didapatkan pada waktu 5 jam. Hasil daya serap tersebut sebesar 477,83 mg/g. Daya serap terhadap larutan iodin mengalami penurunan pada waktu pirolisis 6 dan 7 jam. Penurunan nilai ini disebabkan saat proses pirolisis, energi 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 absorpsi karbon aktif terhadap iodine (Ikawati dan Melati, 2009). Hasil daya serap larutan iodin terendah dalam penelitian variabel variasi waktu ini adalah 432,28 mg/gr. Dibandingkan dengan penelitian sebelumnya, hasil daya serap larutan iodin karbon aktif tempurung kelapa ini cukup baik. Hasil ini sudah memenuhi SII No.0258-79 dengan batas minimal 20% (200 mg/gr) (Ikawati dan Melati, 2009).

Pengaruh Waktu Terhadap Kadar Air Karbon Aktif

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

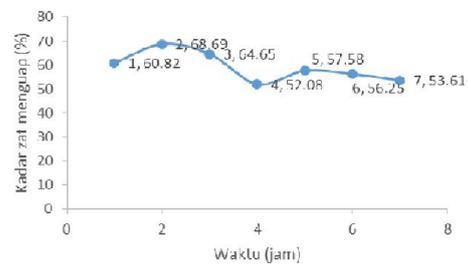
Tabel 2. Hasil Pengujian Kadar Air Karbon Aktif Berbagai Variasi Waktu

No.	Waktu (jam)	Kadar air (%)
1.	1	3,09
2.	2	1,01
3.	3	1,01
4.	4	4,17
5.	5	1,01
6.	6	4,17
7.	7	3,09

Pengaruh waktu pirolisis terhadap kadar air secara teori menyebutkan bahwa semakin lama waktu, maka kadar air semakin sedikit. Hasil yang didapatkan dari penelitian ini menunjukkan terjadi beberapa kenaikan kadar air di berbagai waktu. Hasil penelitian seperti ini pernah didapatkan oleh 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 makin terbuka, sehingga 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 4,17%, sehingga karbon aktif penelitian ini memenuhi standar SII No.0258-79, yaitu dengan batas maksimal 10%.

Pengaruh Waktu Terhadap Kadar Zat Menguap Karbon Aktif

Pengaruh waktu terhadap kadar zat menguap disajikan dalam Gambar 2.



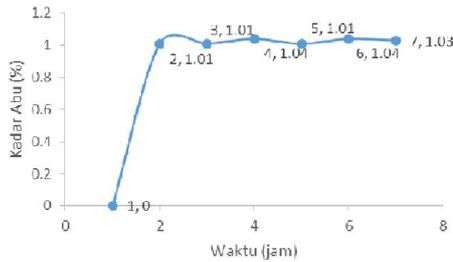
Gambar 2. Pengaruh Waktu Terhadap Kadar Zat Menguap

Gambar tersebut menunjukkan bahwa semakin lamanya waktu pirolisis, maka kadar zat menguap semakin turun, hanya saja di beberapa titik terjadi 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 menguap yang tinggi menunjukkan bahwa permukaan karbon aktif aktif mengandung zat menguap 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 menguap pada karbon aktif variable waktu penelitian ini tidak ada yang memenuhi SII No.0258-79 yaitu maksimal 15%.

Pengaruh Waktu Terhadap Kadar Abu

Gambar 3 menyajikan pengaruh waktu terhadap kadar abu pada hasil karbon aktif variasi waktu.

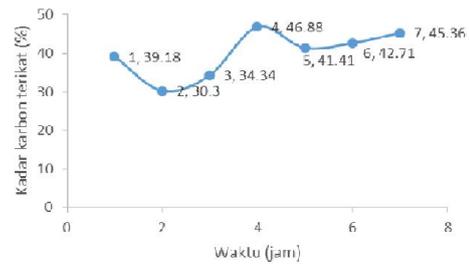


Gambar 3. Pengaruh Waktu Terhadap Kadar Abu

Kandungan abu sangat berpengaruh pada kualitas karbon aktif yang dihasilkan (Scroder E, 2006 dalam Siahaan, dkk 2013). Semakin lama waktu karbonisasi, maka kadar abu yang dihasilkan semakin meningkat. Hal ini dikarenakan semakin lama proses pirolisis berarti semakin lama proses gasifikasi karbon yang memicu penghilangan dan teroksidasinya zat volatil beserta karbon (Ikatawati dan Melati, 2009). Grafik hasil penelitian ini sesuai dengan teori yang telah dikemukakan, hanya saja diwaktu 5 jam terjadi penurunan kadar abu. Hasil perhitungan kadar abu penelitian ini memenuhi SII No.0258-79, karena kurang dari 2,5%, yaitu hanya berkisar dari 0 – 1,04 %.

Pengaruh Waktu Terhadap Kadar Karbon Terikat

Karbon terikat adalah kandungan karbon dalam karbon aktif yang dihasilkan. Pengaruh waktu terhadap kadar karbon terikat dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Pengaruh Waktu Terhadap Kadar Karbon Terikat

Semakin lama waktu pirolisis maka kadar karbon terikat semakin tinggi. Hanya saja pada penelitian ini, hasil yang didapatkan mengalami penyimpangan. Pada beberapa waktu kadar karbon terikat mengalami penurunan dan kenaikan. Hal ini disebabkan karena semakin lamanya waktu pirolisis akan merusak pelat – pelat karbon, karena terjadi oksidasi yang berlebihan (Hartoyo dan Nurhayati, 1976 dalam Siahaan dkk, 2013). Hasil karbon terikat yang didapatkan dari penelitian ini tidak memenuhi SNI 06-3730-1995, karena kurang dari 65%. Menurut Perrich (1981), besar kecilnya kadar karbon terikat karbon aktif yang dihasilkan dipengaruhi oleh bervariasinya kadar abu dan kadar zat menguap (Rini Pujiarti dan J.P Gentur, 2005).

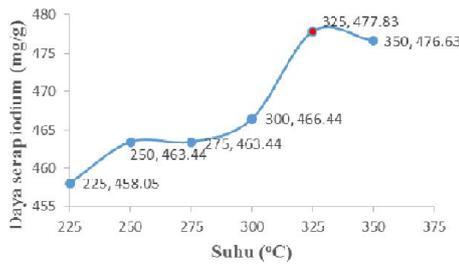
Sesuai hasil pembahasan diatas, didapatkan waktu optimum pirolisis tempurung kelapa adalah waktu 5 jam, sehingga untuk variable suhu waktu pirolisis yang dipakai adalah 5 jam.

Suhu Terbaik Proses Pirolisis

Pada variabel variasi digunakan waktu pirolisis 5 jam. Pengaruh suhu pirolisis terhadap uji mutu karbon aktif disajikan dalam Gambar 5 sampai Gambar 8 dan Tabel 3.

Pengaruh Suhu Pirolisis Terhadap Daya Serap Iodin

Pengaruh suhu pirolisis karbon aktif terhadap daya serap larutan iodin terlihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Pengaruh Suhu Terhadap Daya Serap Iodin

Gambar diatas menunjukkan bahwa semakin tinggi suhu pirolisis, maka kemampuan daya serap terhadap larutan iodin juga makin tinggi. Peningkatan suhu akan melepaskan dan menguapkan pengotor yang mulanya terdapat pada bagian pori dan menutupi pori, sehingga memperluas permukaan karbon aktif. Semakin luas permukaan karbon aktif, maka semakin besar kemampuan adsorpsi karbon aktif (Siti Jamilatun dan Martono S, 2014). Nilai bilangan iodine optimum dari percobaan ini didapatkan pada suhu pirolisis 325 °C yaitu sebesar 477,83 mg/g. Pada suhu 350 °C, nilai bilangan iodine mengalami penurunan. Hal ini disebabkan dengan lamanya waktu pirolisis yaitu 5 jam dan suhu yang meningkat, menyebabkan kandungan abu dalam karbon tersebut meningkat. Keberadaan abu ini dapat menyumbat pori – pori pada struktur karbon aktif sehingga mengurangi luas permukaannya. Hal ini menyebabkan daya jerap (bilangan iodine) semakin menurun (Ikawati dan Melati, 2009).

Pengaruh Suhu Terhadap Kadar Air

Hasil pengujian kadar air karbon aktif variasi suhu disajikan dalam Tabel 3.

Tabel 2. Hasil Pengujian Kadar Air Karbon Aktif Berbagai Variasi Suhu

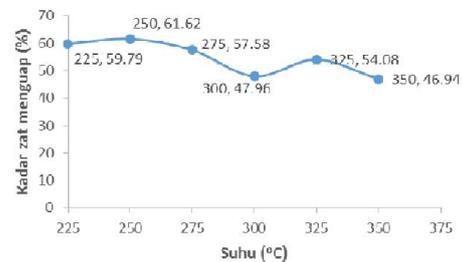
No.	Waktu (°C)	Kadar air (%)
1.	225	3,09
2.	250	1,01
3.	275	1,01
4.	300	2,04
5.	325	2,04
6.	350	2,04

Secara teori, semakin tinggi suhu, kadar air semakin berkurang. Akan tetapi hasil dari penelitian ini menunjukkan kenaikan kadar air di beberapa variasi suhu. Hal ini disebabkan

karena semakin lama waktu pirolisis, maka pori-pori dari karbon aktif makin terbuka, sehingga 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 3,09%, sehingga karbon aktif penelitian ini memenuhi standar SII No.0258-79.

Pengaruh Suhu Terhadap Kadar Zat Menguap

Pengaruh suhu pirolisis terhadap kadar zat menguap disajikan pada Gambar 6.

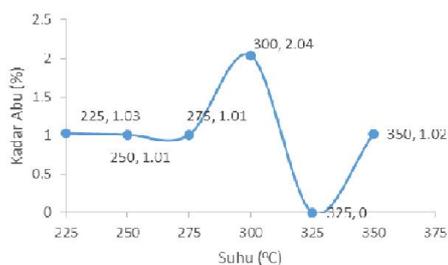


Gambar 6. Pengaruh Suhu Terhadap Kadar Zat Menguap

Peningkatan suhu dan waktu dapat mengurangi kadar zat mudah menguap dalam karbon aktif (Siahaan dkk, 2013). Hasil pengaruh suhu terhadap kadar zat mudah menguap ini tidak jauh beda dengan pengaruh waktu pirolisis. Adanya peningkatan di beberapa titik yang disebabkan interaksi antara karbon dengan energy panas sehingga kadar zat yang mudah menguap meningkat. Hasil kadar zat mudah menguap variable suhu ini tidak memenuhi SII 0258-79 yaitu maksimal 15%.

Pengaruh Suhu Terhadap Kadar Abu

Gambar 7 menyajikan pengaruh suhu pirolisis terhadap kadar abu dari karbon aktif tempurung kelapa.

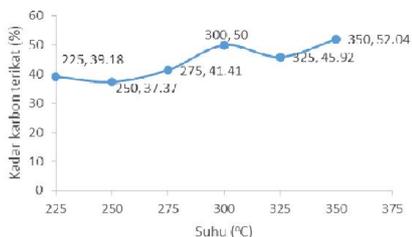


Gambar 7. Pengaruh Suhu Terhadap Kadar Abu

Grafik tersebut menunjukkan bahwa semakin tinggi suhu, kadar abu juga meningkat. Hal ini sesuai dengan teori bahwa semakin tinggi suhu pirolisis, kadar abu semakin meningkat. Peningkatan ini disebabkan oleh kenaikan suhu pirolisis yang memicu teroksidasinya sebagian besar zat volatil termasuk pula karbon. Sedangkan abu tidak terikat teroksidasi karena bukan merupakan zat volatil (Ikawati dan Melati, 2009). Ada penurunan kadar abu di beberapa titik yaitu suhu 250 °C dan 275 °C, hanya saja penurunan ini tidak begitu signifikan dibandingkan kadar abu pada suhu 225 °C. Penurunan juga terjadi pada suhu 325 °C dengan kadar abu 0%. Penurunan kadar abu ini sesuai dengan daya serap karbon aktif terhadap larutan iodin. Seperti yang terlihat pada Gambar 5, bahwa bilangan iodin optimum yang didapatkan dari variabel suhu pirolisis ini adalah pada suhu 325 °C, dimana keberadaan abu akan berpengaruh terhadap luas permukaan karbon aktif. Hasil kadar abu karbon aktif dari variabel ini memenuhi SII No.0258-79 yaitu kurang dari 2,5% dengan range hasil 0 – 2,04%.

Pengaruh Suhu Terhadap Kadar Karbon Terikat

Pengaruh suhu pirolisis terhadap kadar karbon terikat seperti terlihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Pengaruh Suhu Terhadap Kadar Karbon Terikat

Semakin tinggi suhu karbonisasi maka kadar karbon semakin meningkat. Hasil yang didapatkan dari penelitian ini mengalami penurunan di dua suhu yaitu 250 dan 325 °C. Hal ini karena dengan lamanya waktu karbonisasi yaitu 5 jam dan suhu yang semakin meningkat dimungkinkan terjadi kerusakan dinding – dinding pori karbon sehingga karbon yang terbentuk semakin sedikit (Hartoyo dan Nurhayati, 1976 dalam Siahaan dkk, 2013). Meningkatnya daya oksidasi, baik oleh suhu yang tinggi maupun oleh gas pengoksidasi akan menyebabkan kerusakan dinding pori, sehingga luas permukaan dinding pori akan menurun dan kadar karbon yang diperoleh lebih kecil. Hasil karbon terikat penelitian ini tidak memenuhi SNI 06-3730-1995, karena kurang dari 65%.

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa waktu dan suhu pirolisis berpengaruh pada kualitas karbon aktif tempurung kelapa. Hasil pirolisis terbaik didapatkan pada waktu 5 jam dan suhu 325°C, yaitu daya serap iodine 477,83 mg/g, kadar air 2,04%, kadar zat mudah menguap 54,08%, kadar abu 0%, kadar karbon terikat 45,92%. Hasil uji kualitas karbon aktif tempurung kelapa yaitu daya serap terhadap larutan iodin, kadar air, dan kadar abu memenuhi SII No.0258-79.

DAFTAR PUSTAKA

Danarto, Y.C., Prasetyo Budi Utomo, Ferry Sasmita, (2010), Pirolisis Limbah Serbuk Kayu dengan Katalisator Zeolit, *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia “Kejuangan”*, ISSN 1693-4393

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.

Jamilatun, Siti., 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.

Nue, Sri Widyawati, (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.

- Pambayun, Gilar S, Remigius Y.E Yulianto, M. Rachimoellah, dan Endah M.M. Putri, (2013), Pembuatan Karbon Aktif dari Arang Tempurung Kelapa dengan Activator $ZnCl_2$ dan Na_2CO_3 sebagai Adsorben untuk Mengurangi Kadar Fenol dalam Air Limbah, *Journal Teknik POMITS*, Vol.2, No.1, ISSN: 2337-3539
- Pujiarti, Rini 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
- 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
- Wibowo, Santiyo., Wasrin Syafii, dan Gustan Pari, (2009), Karakteristik Arang Aktif Tempurung Biji Nyamplung (*Colophyllum inophyllum Linn*), Fakultas Kehutanan, IPB, Bogor.